

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

Diplomová práce

**Užití databází měřených hodnot k analýze provozu vedení
přenosové soustavy**

**Using of Measured Values Databases for Analysis of Transmission
System Lines Operation**

2018

Bc. Ondřej Křemen

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Křemen**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Užití databází měřených hodnot k analýze provozu vedení přenosové soustavy
Using of Measured Values Databases for Analysis of Transmission System Lines Operation

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor vedení (teorie ztrát) a funkce přenosové soustavy České republiky
2. Technický rozbor parametrů měřených hodnot na vybraných vedeních VVN a ZVN v ČR
3. Analýza vybraných databází měřených hodnot u vedení VVN a ZVN
4. Nové možnosti uplatnění měřených hodnot k výpočtům technických ztrát u vedení VVN a ZVN v oblasti SW prostředků
5. SW prostředky, používané pro výpočty technických ztrát v přenosové soustavě v ČR a zahraničí
6. SW výpočty v oblasti přenášeného výkonu u vedení VVN a ZVN s ohledem na teplotní spektra a vyhodnocení ztrát
7. Modelové stavy provozu vedení VVN a ZVN s uplatněním SW prostředků
8. Analýza dosažených výsledků a stanovení závěrů pro praxi

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek Z. : Elektroenergetika, skripta VŠB Ostrava 1992
2. Santarius P. : Elektrické stanice a vedení, skripta VŠB Ostrava 1990
3. Rudolf L. : Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení PS, habilitační práce VŠB TUO, 2009
4. Dokumentace ČEPS, a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

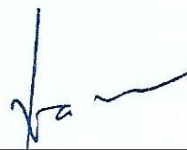
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 8. dubna 2018


.....
podpis studenta

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za odborné rady, ochotu a vstřícnost při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Ladislavu Rudolfovi, Ph.D. za veškerý věnovaný čas, cenné rady, nápady a kritiku při konzultacích.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá analýzou technických ztrát na šesti vybraných vedení České přenosové soustavy, s využitím databází měřených hodnot. Teoretická část této práce je zaměřena na rozbor historie, současnosti a budoucnosti České přenosové soustavy a na rozbor technických ztrát na vedení VVN a ZVN, včetně výpočtu Jouleových ztrát pomocí π – článku. K analýze technických ztrát jsou použity naměřené hodnoty, dodané v databázích, které bylo zapotřebí nejprve upravit.

Praktická část je rozdělena na dvě části. V první části jsou řešeny technické ztráty v závislosti pouze na přenášeném výkonu, a tedy provozním stavu jednotlivých vedení, pomocí softwaru „Ztráty na vedení“ a tabulkového souboru Microsoft Excel. V další části je použit software „Optimalizace provozu vedení PS“ k vytvoření modelových stavů technických ztrát v závislosti na velikosti přenášeného výkonu jednotlivých vedení a teploty okolí.

V závěru práce je proveden souhrn a zhodnocení dosažených výsledků.

Klíčová slova

Přenosová soustava; vedení přenosové soustavy; technické ztráty; databáze naměřených hodnot; analýza; roční období; teplota; přenášený výkon; Jouleovy ztráty; modelové stavy; predikce ztrát; software; Microsoft Excel

Abstract

This thesis deals with the analysis technical losses of six particular transmission system lines of the Czech republic applying the database of measured values. The theoretical part focuses on timeline (past, presence and future) of the Czech transmission system as well as on the analysis of the VVN line and ZVN line technical losses, including Joule's losses and π matching network. The analysis uses measured values from the databases which have been adjusted before applying.

The practical part is divided into two parts. First part deals with technical losses depending on transmitted power only using software „Ztráty na vedení“ and software MS Excel. This way assumes the flow state of particular line. In the second part there is used the software „Optimalizace provozu vedení PS“ to create the technical losses model state depending on the amount of transmitted power of the particular line and surrounding temperature.

In the conclusion, there are the summary and the evaluation of the measured data based on which final results are made.

Key words

Transmission system; transmission system lines; technical losses; databases of measured values; analysis; the seasons; temperature; transmitted power; Joule's losses; the model states; loss prediction; software; Microsoft Excel

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symboly a zkratky	Význam	Jednotky
ES	Elektrizační soustava	-
PS	Přenosová soustava	-
VVN	Velmi vysoké napětí	-
ZVN	Zvlášť vysoké napětí	-
PST	Transformátor s řízeným fázovým posuvem	-
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava	-
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity	-
EU	Evropská unie	-
ČR	Česká Republika	-
PTP	Přístrojový transformátor proudu	-
PTN	Přístrojový transformátor napětí	-
SF6	Fluorid sírový	-
SW	Software	-
l	Délka vedení	km
R_k	Rezistance vedení	Ω/km
L_k	Indukčnost vedení	H/km
C_k	Kapacita vedení	F/km
G_k	Svodová vodivost	S/km
Z_k	Podélná impedance	Ω/km
Y_k	Příčná admitance	Ω/km
U	Napětí	V
I	Proud	A
ω	Úhlová rychlost	rad · s ⁻¹
f	Frekvence	Hz
P_p	Přirozený výkon	W
Z_v	Vlnová impedance	Ω
ΔP_j	Jouleovy ztráty	MW
ΔP_k	Ztráty korunou	MW

ΔP_s	Ztráty svodem	MW
ΔP_{tech}	Technické ztráty	MW
η	Účinnost	%
P	Činný výkon	W
Φ	Magnetický tok	Wb
R	Rezistance	Ω
L	Indukčnost	H
C	Kapacita	F
k	Koeficient zatížení vedení	-
I_ϵ	Činná složka proudu	A
I_j	Jalová složka proudu	A
Q	Jalový výkon	var
X	Reaktance	Ω
B	Susceptance	S
Q_{nab}	Nabíjecí jalový výkon	Mvar
I_{nab}	Nabíjecí proud	A
S	Zdánlivý výkon	$V \cdot A$
U_0	Kritické napětí	kV
δ	Relativní hustota vzduchu	-
m_1	Vliv povrchu vodiče	-
m_2	Vliv počasí	-
u	Teplota vodiče	K
U_f	Fázové napětí	V
U_s	Sdružené napětí	V
I_s	Svodový proud	A
r	Poloměr	cm
d	Střední vzdálenost vodičů	cm
F	Koeficient pro výpočet korony	-
I_{max}	Maximální dovolený proud	A
I_z	Proudové zatížení	%
$P_{(ABS)}$	Absolutní hodnota činného výkonu	W
T	Teplota okolí	$^{\circ}C$

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	7
Úvod.....	10
1 Teoretický rozbor přenosové soustavy v ČR	11
1.1 Přenosová soustava ČR	11
1.1.1 Vedení PS	12
1.1.2 Elektrické stanice PS.....	13
1.1.3 Vliv klimatických podmínek na PS	13
1.2 Historie PS v České Republice.....	14
1.3 ČEPS a.s.....	15
1.3.1 Kodex PS	15
1.4 Propojení PS s Evropou.....	16
1.5 Rozvoj PS do roku 2024.....	17
2 Ztráty elektrické energie v sítích VVN a ZVN	19
2.1 Ztráty elektrické energie.....	19
2.1.1 Rozdělení obvodu podle způsobu přenosu.....	19
2.2 Jouleovy ztráty	20
2.2.1 Řešení Jouleových ztrát na vedení VVN a ZVN:.....	20
2.3 Ztráty korunou.....	22
2.4 Ztráty svodem.....	23
3 Analýza vybrané oblasti vedení PS	24
3.1 Rozbor řešené oblasti vedení PS	25
3.1.1 Parametry vedení	26
3.2 Databáze měřených ztrát	27
3.3 Analýza teploty na vedení PS.....	28
3.3.1 Letní období:	29
3.3.2 Zimní období:	30
4 Využití softwarů k analýze ztrát na vedení PS	32
4.1 Softwary pro vyhodnocení ztrát na vedení PS:	32
4.2 Analýza ztrát v zahraničí:.....	33
5 Analýza technických ztrát softwarem – Ztráty na vedení	34
5.1 Analýza vedení PS	35

5.1.1	<i>Technické ztráty na vedení V402 (Krasíkov – Prosenice)</i>	36
5.1.2	<i>Technické ztráty na vedení V403 (Prosenice - Nošovice)</i>	38
5.1.3	<i>Technické ztráty na vedení V405 (Nošovice - Kletné)</i>	40
5.1.4	<i>Technické ztráty na vedení V457 (Dlouhé Stráně - Krasíkov)</i>	41
5.1.5	<i>Technické ztráty na vedení V458 (Krasíkov – Horní Životice)</i>	43
5.1.6	<i>Technické ztráty na vedení V459 (Horní Životice - Kletné)</i>	45
5.2	Vzájemné zhodnocení vybrané oblasti vedení	47
6	Analýza Jouleových ztrát softwarem – Optimalizace provozu vedení PS	48
6.1	Modelové stavy Jouleových ztrát na vybraném vedení PS	49
6.1.1	<i>Vedení V402 (Krasíkov – Prosenice)</i>	50
6.1.2	<i>Vedení V403 (Prosenice – Nošovice)</i>	51
6.1.3	<i>Vedení V405 (Nošovice – Kletné)</i>	52
6.1.4	<i>Vedení V457 (Dlouhé Stráně – Krasíkov)</i>	54
6.1.5	<i>Vedení V458 (Krasíkov – Horní Životice)</i>	55
6.1.6	<i>Vedení V459 (Horní Životice – Kletné)</i>	56
6.2	Budoucí podoba nového SW	58
	Závěr	59
	Literatura	62
	Seznam tabulek	64
	Seznam obrázků	64
	Seznam grafů	65
	Seznam příloh	67

Úvod

Žijeme v době, kdy rychle roste technologická infrastruktura vesnic, měst i průmyslu a tím roste i poptávka po elektrické energii. S rostoucí poptávkou roste i snaha o úsporu, začínající u výroby elektrické energie, kterou je nutné přenést na obrovské vzdálenosti, a končící u samotné spotřeby. Aby bylo možné určit, kde jsou největší ztráty elektrické energie, jež je nutné eliminovat, musíme provádět analýzu měřených hodnot, reprezentující chování dané oblasti elektrizační soustavy. Tato diplomová práce se takovou analýzou zabývá, a to v oblasti přenosové soustavy, sloužící k přenesení velkého množství elektrické energie z místa výroby k místu spotřeby. Ačkoliv si to neuvědomujeme, právě ztráty na přenosovém vedení jsou jedny z největších, a přitom se dají do jisté míry eliminovat.

Teoretická část diplomové práce se zabývá rozбором České přenosové soustavy, která je jednou z hlavních částí české energetiky. Kromě základních údajů o vedení a rozvodnách PS jsou zde popsány i historie, současný stav a plán rozvoje k roku 2026. V další části je uvedena teorie technických ztrát, dělí se dále na Jouleovy ztráty, ztráty korunou a ztráty svodem. Protože jsou řešeny především ztráty Jouleovy, které mají největší podíl technických ztrát, tak je zde i odvození jejich výpočtu pro vedení VVN a ZVN.

Praktická část diplomové práce se zabývá analýzou technických ztrát šesti vybraných vedení PS, kde jedno z vedení je zcela nové. Kromě nového vedení je zde připojena ještě přečerpávací vodní elektrárna, měnící svůj chod a tím provoz celé sítě. Analýza je provedena pomocí dat, které dodala společnost zabývající se energetikou, v podobě databází z letních a zimních měsíců (2017/18). Technické ztráty jsou zde přezkoumávány s ohledem na provoz, velikost přenášeného výkonu a teplotu okolí, která působí na vodiče samotné a tím i na ztráty. Proto je další úsek praktické části rozdělen do tří bodů.

V prvním bodě jsou přezkoumány teploty působící na vodiče. Tyto údaje pak slouží k teoretickému určení, kde by mohly být ztráty vlivem teplot největší a kde naopak nejmenší. Další bod se zabývá analýzou technických ztrát s ohledem na přenášený výkon. K této analýze je využíván software „Ztráty na vedení“, který z databází obsahující měřených hodnot počítá Jouleovy ztráty, ztráty korunou a ztráty svodem. Pro lepší přehled jsou výsledky ze softwarů převedeny do programu Microsoft Excel, ve kterém jsou tvořeny tabulky a grafy časových průběhů přenášeného výkonu a technických ztrát. Poslední bod praktické části se zabývá predikcí Jouleových ztrát s ohledem na velikost přenášeného výkonu a teploty okolí. K tomu se využívá software „Optimalizace provozu vedení PS“, ve kterém jsou tvořeny modelové stavy Jouleových ztrát při určité velikosti přenášeného výkonu a dvou teplotních rozsahů.

V závěru jsou vyhodnoceny dosažené výsledky

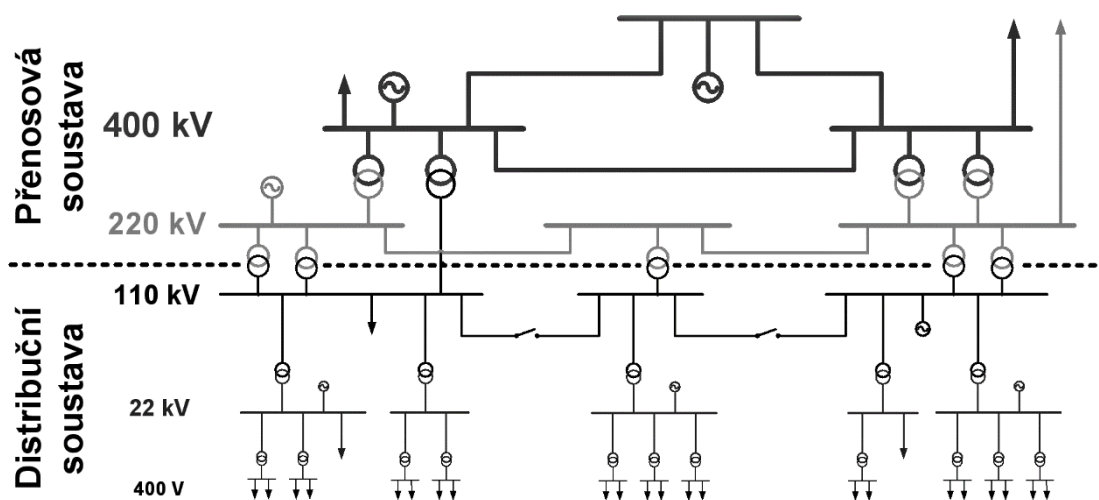
Cíle diplomové práce:

- Zpracování teoretické části
- Rozbor řešené části PS
- Úprava databází měřených hodnot
- Analýza teplot okolí vedení PS
- Využití softwarů k analýze technických ztrát
- Analýza technických ztrát s ohledem na přenášený výkon
- Analýza Jouleových ztrát s ohledem na přenášený výkon a teplotu okolí

1 Teoretický rozbor přenosové soustavy v ČR

V první kapitole diplomové práce se zabývám teoretickým rozбором přenosové soustavy, její historií, současným stavem a také budoucím rozvojem PS v České republice.

Abych se mohl zabývat PS, tak je nutné si nejprve zmínit pojem „elektrizační soustava“. ES slouží pro přenos a transformaci elektrické energie z místa výroby do místa spotřeby. Tato soustava se tedy člení na výrobu, přenos, transformaci a spotřebu elektrické energie. Dále lze tuto soustavu rozdělit na „přenosovou“, kterou se zabývá tato diplomová práce a na „distribuční“, neboli rozvodnou. ES může být provozována buďto samostatně nebo jako součást dílčích vzájemně propojených soustav. [1][2]



Obr. 1: Elektrizační soustava.(1)

1.1 Přenosová soustava ČR

Přenosová soustava je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení sloužící pro přenos elektrické energie po celém území České republiky a pro propojení s elektrizačními soustavami okolních států, včetně systému měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.

Přenosová soustava přenáší velké výkony z velkých systémových elektráren na velké vzdálenosti po celém území České republiky, kde napájí distribuční soustavy. PS by se dala přirovnat k tzv. „páteři energetiky“, protože připomíná síť dálnic, ze kterých vedou menší silnice do různých zákoutí země.

Hlavním úkolem PS je udržování stability a rovnoměrnosti toků výkonu za předpokladu určité ekonomické hospodárnosti a bezpečnosti. Pro lepší přehled se česká PS dělí na územní části západ, střed a východ. [1][2]

1.1.1 Vedení PS

Česká PS je složena z vedení ZVN 400 kV, vedení VVN 220 kV a části vedení VN 110 kV. Tato vedení se u nás provozují jako venkovní nadzemní a jsou tvořena, AlFe lany, která se zavěšují přes izolátory na stožáry. Vedení ZVN se provádí jako jednoduchá tři svazková, čímž se snižují ztráty korunou a indukčnost, a vedení VVN je u nás provedeno jako dvojité vedení jednovodičové. Vzdálenosti těchto vedení jsou uvedeny v první tabulce (tab. 1).

Vedení PS se může rozdělit podle typu na:

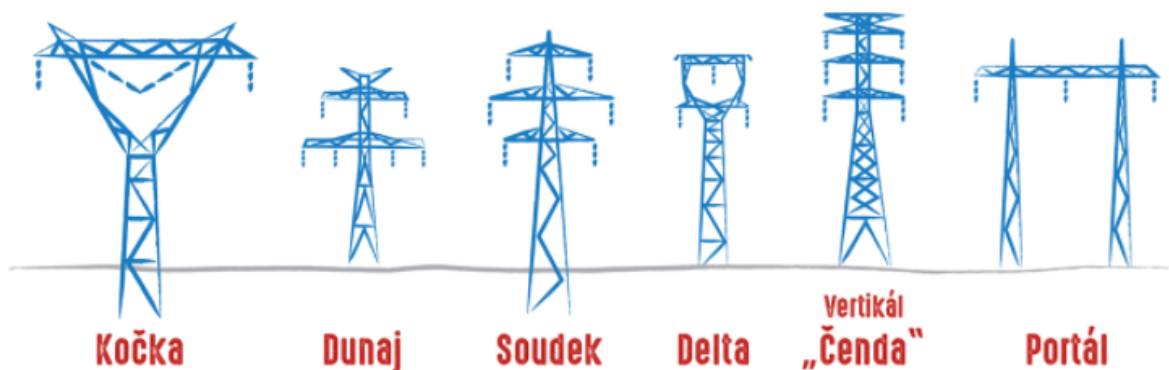
- **Vedení BLOKOVÁ** - tato vedení slouží k vyvedení výkonu elektrárenských bloků do PS.
- **Vedení PŘENOSOVÁ** - slouží k přenosu výkonu mezi jednotlivými rozvodnami.

Jednotlivé vedení PS spojují vždy maximálně dvě rozvodny. Jedinou výjimkou je vedení V226 mezi Hradcem a Vyškovem, které se označuje jako T-kus, ke kterému je připojena ještě rozvodna VTŽ Chomutov.

Celá soustava ZVN a VVN v ČR je provedena tak, aby v konečném stavu splňovala **kritérium (n-1)**. Toto kritérium říká, že soustava ES musí udržet normální stav parametrů chodu i po výpadku libovolného prvku (např. vedení, transformátoru...), což neplatí pro krátkodobé lokální omezení spotřeby.

Tab. 1: Vedení PS v České republice k datu 31. 12. 2016 [3]

Druh vedení (podle napěťové hladiny)	Délka vedení	
Vedení 400 kV	(km)	3724
• Z toho dvojité a vícenásobné	(km)	1363
Vedení 220 kV	(km)	1909
• Z toho dvojité a vícenásobné	(km)	1038
Vedení 110 kV	(km)	84
• Z toho dvojité a vícenásobné	(km)	78
Zahraniční vedení 400 kV	(km)	11
Zahraniční vedení 220 kV	(km)	6



Obr. 2: Stožáry PS. [1]

1.1.2 Elektrické stanice PS

Další součástí PS jsou elektrické stanice 400 kV a 220 kV tvořící strategické uzly, které propojují různé hladiny napětí. Kromě těchto stanic je součástí i jedna rozvodna 110 kV - Kočín.

Každá rozvodna PS musí být napájena minimálně dvěma různými přenosovými vedeními. Výjimkou jsou rozvodny, které ještě nebyly dokončeny. Většina rozvodů PS jsou ve venkovním provedení, ale několik jich je i v provedení zapouzdřeném s izolačním médiem SF6. Jedná se o některé blokové rozvodny z elektráren (např. Dlouhé Stráně); nebo rozvodny Chotějovice a Chodov, které jsou na napěťové hladině 400 kV.

Součástí elektrických rozvodů PS jsou prvky jako transformátory, výkonové vypínače, odpojovače a měřicí transformátory napětí a proudu. Dále jsou součástí ochranné, řídicí, bezpečnostní a další podpůrné systémy. [1]

Elektrické stanice PS se dělí podle typu na:

- **Transformovny** - slouží k transformaci napětí.
- **Spínací stanice** - slouží k rozvodu elektrické energie beze změny napětí.
- **Měničny** - slouží ke změně kmitočtu napětí.

Tab. 2: Zařízení PS v České republice k datu 31. 12. 2016 [3]

Popis zařízení (podle napěťové hladiny)	Množství zařízení	
Rozvodny 400 kV	(ks)	26
Rozvodny 220 kV	(ks)	14
Rozvodny 110 kV	(ks)	1
Transformátory 400/220 kV	(ks)	4
Transformátory 400/110 kV	(ks)	48
Transformátory 220/110 kV	(ks)	21
Transformátory s posunem fáze (PST) 400 kV	(ks)	2

1.1.3 Vliv klimatických podmínek na PS

Ani v pásu mírného podnebí se nelze vyhnout nepříznivých vlivů klimatu na jednotlivé prvky PS. Tyto vlivy způsobují především omezení životnosti a dobu použití a proto se při návrhu PS musí s těmito vlivy počítat a navrhnout PS tak aby jím odolávala.

Jedním z nejčastějších a také nejdůležitějších vlivů, který působí jak na vodiče, tak i na samotnou nosnou konstrukci je vítr. Vítr tlačí na tyto části a tím zvyšuje zatížení vodičů a konstrukci, dále dochází k tzv. tancování lan, což je kmitavý pohyb vodičů. Z tohoto důvodu se přidávají na začátek a konec vedení závaží, která lana napínají.

Dalším nepříznivým vlivem je ledová námraza, která zatěžuje vodiče. Ledová námraza může dosáhnout takové váhy, že kromě pádu vodičů dochází mnohdy i k deformaci samotných stožárů.

Nebezpečným vlivem jsou i bouřky, proto jsou vedení před úderem blesků chráněny zemnicím lanem, které se nachází v nejvyšší části stožárů. [4]

Jeden z posledních nepříznivých vlivů, který je nebezpečný z hlediska dlouhodobého působení, je koroze, určující životnost stožárů. Proto se stožáry natírají povrchovou ochranou nebo se pozinkují či se použije oceli se zvýšenou odolností. [4]

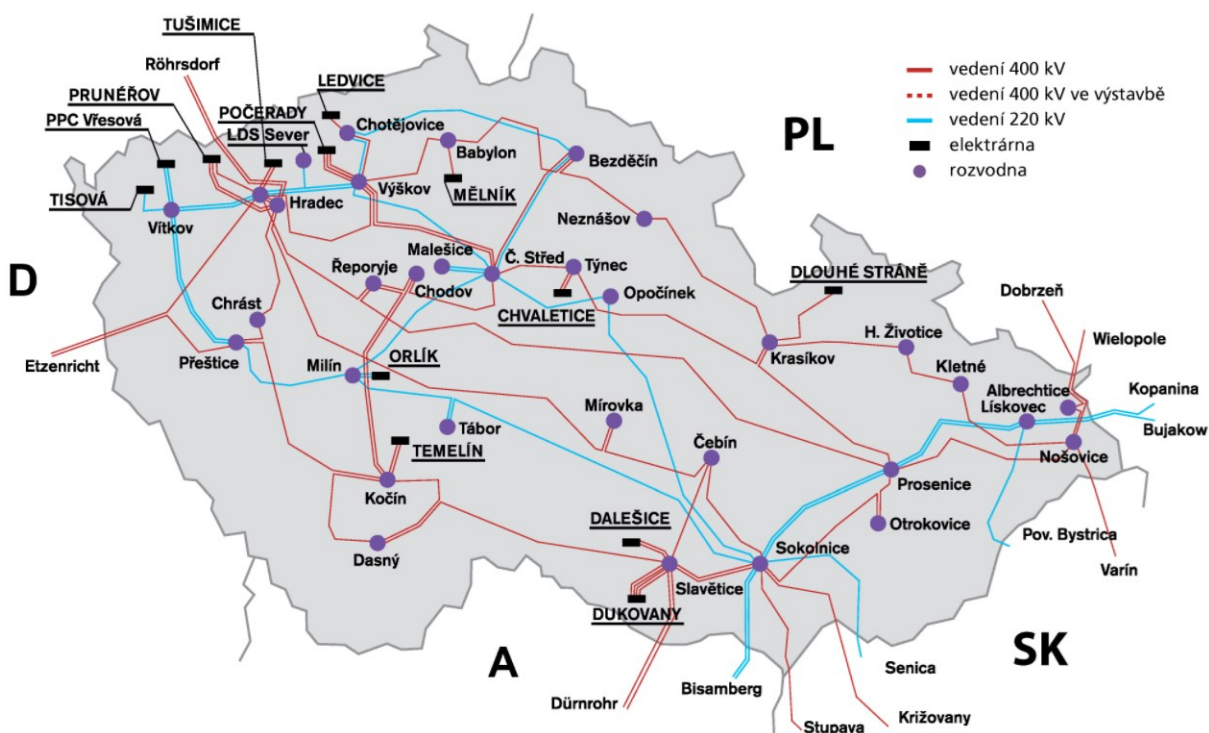
1.2 Historie PS v České Republice

Elektrická síť na našem území se začala rozvíjet již před první světovou válkou, kdy byla nejprve stejnosměrná a později střídavá. V dalším období proběhlo mnoho změn, kde první podoba přenosové soustavy vznikla v roce 1919 po vzniku Československa.

V tomto roce byl vydán zákon 483/19 Sb., o státní podpoře při zahájení soustavné elektrizace v Československu. Na základě tohoto zákona vzniklo několik elektrárenských společností a ministerským výnosem byla zavedena trojfázová soustava o kmitočtu 50 Hz na napěťové hladině 0,4 kV, u přepsohlích 22 kV a dálkových rozvodech 100 kV. V roce 1926 bylo uvedeno do provozu první dálkové vedení o napětí 100 kV.

V roce 1951 došlo k první výstavbě přenosového vedení 220 kV a až v roce 1962 bylo dokončeno první vedení 400 kV mezi rozvodnami Hradec u Kadaně v severních Čechách a Prosenicemi u Přerova, které mělo na délku 500 km.

Od té doby se přenosová soustava utvářela až do dnešní podoby, kdy je od roku 1998 ve správě ČEPS (Česká energetická přenosová soustava). [5]



Obr. 3: Současný stav PS v České republice k datu 31.12.2016 [3]

1.3 ČEPS a.s.

ČEPS je akciová společnost, která na základě licence na přenos elektřiny působí jako jediný provozovatel České přenosové soustavy. Jediným akcionářem je stát Česká republika a celá společnost tak spadá pod Ministerstvo průmyslu a obchodu. Vedení tvoří valná hromada, dozorčí rada a představenstvo. [6]

Kromě provozu (přenosové služby a dispečerské řízení), rozvoje a údržby přenosové soustavy zajišťuje ještě služby systémové a podpůrné. ČEPS tedy nezajišťuje výrobu ani spotřebu elektrické energie, ale zajišťuje přenos elektřiny mezi výrobcí a distributory. Kromě zajištění přenosu na území České republiky spolupracuje i s ostatními provozovateli PS v celé Evropě a formou aukcí spolupracuje na přerozdělování přeshraniční přenosové kapacity.

Systémové služby jsou činnosti, při které jsou zajišťována kvalita a spolehlivost dodávky elektrické energie na úrovni PS. Zároveň touto činností musí ČEPS plnit mezinárodní závazky a podmínky pro propojení zbytku Evropy s ČR. [7]

Mezi systémové služby patří:

- **Udržování kvality elektrické energie**
- **Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase**
- **Obnovení provozu**
- **Dispečerské řízení**

Dispečerské řízení je hlavní činností dispečinku ČEPS, která zajišťuje spolehlivý a bezpečný provoz elektrizační soustavy v ČR. Mezi její hlavní úkoly patří například zajištění trvalé rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. [7]

Tyto služby jsou hrazeny jako součást ceny za elektřinu, a to jak spotřebiteli tak i výrobci elektrické energie. Navíc zde spadají i spotřebitelé, kteří vlastní tzv. ostrovní síť, přesto že se na přenosu nepodílí. Výši poplatků stanovuje Energetický regulační úřad (ERU) pro každý kalendářní rok. Procentuální hodnota poplatků k roku 2016 za přenosové služby činí 3,6 %, za systémové služby pak 3,0 %. [8]

1.3.1 Kodex PS

Je to soubor pravidel, které jsou nutné k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu PS. Tyto pravidla musí provozovatel PS respektovat při vytváření podmínek pro připojení a provoz všech uživatelů PS. Tyto pravidla stanovují především technické, konstrukční a provozní požadavky a také požadavky pro poskytování přenosových a podpůrných služeb. [9]

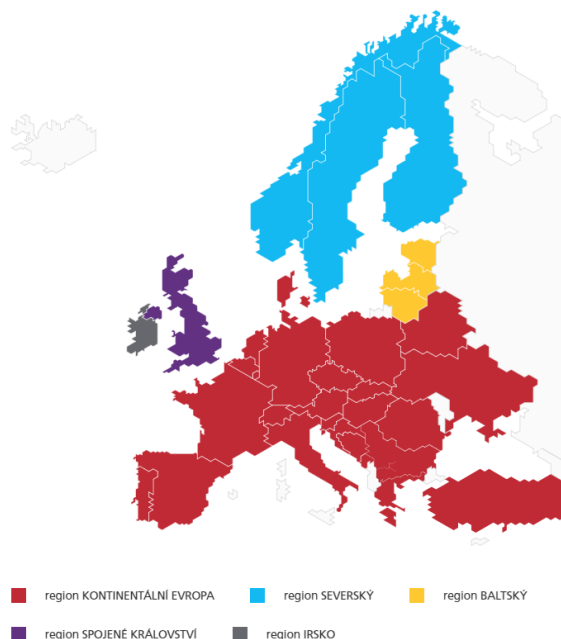
Kodex PS je soubor dokumentů, který se skládá z těchto jednotlivých částí:

- | | |
|-------------------|---|
| Část I. | Základní podmínky pro užívání přenosové soustavy |
| Část II. | Podpůrné služby (PpS) |
| Část III. | Poskytování systémových a přenosových služeb |
| Část IV. | Plánování rozvoje PS |
| Část V. | Bezpečnost provozu a kvalita na úrovni PS |
| Část VI. | Dispečerské řízení |
| Část VII. | Zařízení PS |
| Část VIII. | Standardy PS |

1.4 Propojení PS s Evropou

Česká PS je součástí mezinárodní spolupráce v rámci synchronní zóny celé Evropy. Pomocí sedmnácti přeshraničních vedení je připojena k okolním státům ČR.

Seskupení států propojené Evropy spadá pod organizaci ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*). Do tohoto seskupení patří 43 evropských provozovatelů PS z 36 zemí Evropy. [10]

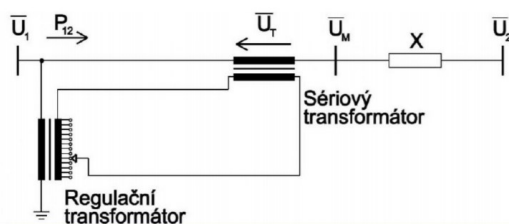


Obr. 4: Synchronní propojení Evropy pod uskupením organizace ENTSO-E k roku 2018. [10]

Toto propojení se nazývá synchronní zóna, což znamená, že pro připojení PS do této zóny musí být předepsané podmínky, které určují chod sítě. Zejména stejné parametry napětí a frekvence. Tímto se vytváří řada výhod i nevýhod. Mezi výhody patří například to, že síť je tvrdší, není potřeba tak velkých rezervních výkonů a je lepší regulace. Mezi nevýhody, spadají nechtěné přetoky velkých výkonů a vzájemné ovlivňování celé sítě.

Právě kvůli velkým přetokům výkonu a přetěžování PS, které jsou způsobeny hlavně velkým množstvím větrných elektráren na severu Německa, byly do rozvodny Hradec u Kadaně nainstalovány PST transformátory (Phase-shifting transformer - transformátor s řízeným posuvem fáze).

Těmito transformátory je pak možné pomocí změny fázoru napětí regulovat tok výkonu, který závisí na fázovém úhlu. PST se skládá ze sériového transformátoru a transformátoru Regulačního, který je připojen k vedení paralelně. Změnou odbočky na regulačním transformátoru se na sériovém transformátoru objeví kladné nebo záporné napětí, které zapříčiní změnu fázového posunu mezi napětím a tím reguluje směr toku výkonu. [11][12]



Obr. 5: Princip zapojení PST na PS. [12]

1.5 Rozvoj PS do roku 2024

ČEPS jako jediný provozovatel PS je ze zákona povinen vytvářet tzv. plán rozvoje (včetně investičních nákladů). Tato činnost je velice důležitá z hlediska spolehlivosti chodu celé elektrizační soustavy za normálních podmínek s dostatečným časovým výhledem. Kromě toho musí splňovat požadavky všech účastníků trhu s elektrickou energií na dostatečnou kapacitu přenosu a kvalitu elektrické energie ve spojení s rozložením výroben a místní spotřeby v rámci celé PS.

Protože je celá PS propojená s mezinárodní elektrizační sítí, tak musí mimo vnitrostátních požadavků brát ohledy i na rozvojový plán v souladu s Nařízením Evropského parlamentu. Tyto nařízení se týkají regionálního investičního plánu střední a východní Evropy a desetiletého plánu rozvoje přenosové sítě EU, které jsou přijímány ENTSO-E. [13]

Plán rozvoje se skládá z těchto částí:

- Části PS, které je třeba vybudovat nebo rozšířit v následujících 10 letech.
- Souhrn veškerých investičních nákladů včetně termínů realizace, které již byly schváleny.
- Nové investice, které je nutné realizovat v následujících 3 letech včetně termínu realizace.

Tab. 3: Plán výstavby přenosového vedení do roku 2026. [13]

Název vedení	Délka (km)	Začátek výstavby	Ukončení výstavby
V413/V416 - smyčka do rozvodny Mírovka	25	2018	2019
V451/V448 Babylon - Bezděčín, (zdvojení stávajícího vedení)	54	2019	2020
V490/V491 Přestice - Vítkov, (výstavba nového vedení)	87	2019	2021
V460 Nošovice - Albrechtice, (navýšení přenosové schopnosti)	16,5	2020	2020
V450/V428 Výškov - Babylon, (zdvojení stávajícího vedení)	73	2020	2022
V423 Čebín - Sokolnice, (navýšení přenosové schopnosti)	38,3	2020	2023
V415/V416 Chodov - Čechy Střed, (I. etapa - zdvojení stávajícího vedení)	8	2021	2021
V403/803 Prosenice - Nošovice, (zdvojení stávajícího vedení)	80	2021	2023
V406/V407 Kočín - Mírovka, (výstavba nového vedení)	121	2021	2025
V487/V488 Verněřov - Vítkov, (výstavba nového vedení)	83	2021	2023
V415/V495 Chodov - Čechy Střed, (II. etapa - zdvojení stávajícího vedení)	28	2022	2022
V431/831 Chrast - Přestice, (zdvojení stávajícího vedení)	33	2023	2023
V475/V477 - smyčka do rozvodny Milín	0,7	2023	2023
V411/811 Hradec - Výškov, (zdvojení stávajícího vedení)	46	2023	2024
V456/V803 - smyčka do rozvodny Kletné	29	2024	2025
V430/V830 Hradec - Chrast, (zdvojení stávajícího vedení)	82	2024	2025
V443/V449 - smyčka do rozvodny Dětmárovice	1,2	2025	2025
V413 Řeporyje - Mírovka, (navýšení přenosové schopnosti)	146	2025	2026
V432/429 Přestice - Kočín, (zdvojení stávajícího vedení)	117	2026	2028
V434/834 Slavětice - Čebín	52	2026	2028

Tab. 4: Plán výstavby rozvoden do roku 2026. [13]

Název rozvodny	Začátek výstavby	Ukončení výstavby
Rozvodna Čechy střed, (komplexní rekonstrukce)	2012	2017
Rozvodna Verněřov, (nová rozvodna 420 kV)	2015	2017
Rozvodna Otrokovice, (komplexní rekonstrukce)	2015	2018
Rozvodna Chodov, (komplexní rekonstrukce)	2016	2018
Rozvodna Kočín, (komplexní rekonstrukce)	2017	2023
Rozvodna Vítkov, (nová rozvodna 420 kV)	2018	2020
Rozvodna Prosenice, (komplexní rekonstrukce)	2019	2024
Rozvodna Chrást, (komplexní rekonstrukce)	2021	2024
Rozvodna Hradec, (komplexní rekonstrukce)	2021	2030
Rozvodna Milín, (nová rozvodna 420 kV)	2022	2023
Rozvodna Dětmárovice, (nová rozvodna 420 kV)	2023	2025
Rozvodna Praha-Sever, (nová rozvodna 400 kV)	2023	2025
Rozvodna Slavětice, (komplexní rekonstrukce)	2024	2032

V tabulkách (tab. 3 a tab. 4) jsou uvedeny plány rozvoje vedení a rozvoden PS v ČR do roku 2026. Tabulky jsou seřazeny dle roku zahájení výstavby a tabulka pro vedení obsahuje i délky jednotlivých úseků.

Podle tabulky pro vedení (tab. 3) je zřejmé, že se plánují pouze dvě zcela nové vedení a to *V406/V407 Kočín – Mírovka* a *V487/V488 Verněřov – Vítkov*. Kromě výstavby nového vedení se převážně plánuje zdvojování stávajících vedení a také několik navýšení přenosových schopností.

V tabulce pro rozvodny (tab. 4) lze vidět plán výstavby čtyř nových rozvoden 420 kV a jedné rozvodny 400 kV. Dále je v plánu několik komplexních rekonstrukcí rozvoden.

Veškeré stávající a plánované úpravy přenosové soustavy jsou také znázorněny v příloze č. 1.

2 Ztráty elektrické energie v sítích VVN a ZVN

V praktické části této diplomové práce se budu zabývat analýzou ztrát na vedení PS, a proto je náplní této kapitoly teoretické řešení ztrát v sítích VVN a ZVN.

2.1 Ztráty elektrické energie

Elektrické ztráty vznikají průchodem elektrického proudu každým prvkem elektrizační soustavy a jsou tak nedílnou součástí provozních nákladů. Je to energie, která se při přenosu zmaří a je nevyužita, nedají se zcela eliminovat, ale lze je snížit na přijatelné hodnoty. Ztráty se tedy posuzují z hlediska ekonomického a technického. Tato práce se zabývá těmi technickými, které se podílejí na velikosti nevyužité energie především na vedení VVN a ZVN.

Technické ztráty se dále dělí na:

- **Ztráty STÁLÉ** – jsou dány provedením a parametry zařízení.
- **Ztráty PROMĚNLIVÉ** – ty jsou ovlivněny především přenášeným výkonem a také teplotou.

Elektrické ztráty lze obecně zapsat jako rozdíl mezi dodávaným příkonem P_1 a odebíraným výkonem P_2 elektrickým zařízením:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (W) \quad (1)$$

Podle toho s jakými ztrátami obvod pracuje, se dá určit celková účinnost. Ta je dána poměrem mezi výkonem a příkonem a udává se v procentech:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Aby bylo možné určit ekonomické ztráty, je důležité nejprve určit ztráty technické. To se provádí **výpočtem**, který je složitý a je třeba k němu znát všechny parametry a provedení vedení, nebo se určují **měřením**. Tato práce bude určovat ztráty z měřených dat z různých ročních období, které dodala společnost zabývající se energetikou. [14]

2.1.1 Rozdělení obvodu podle způsobu přenosu

Přenos elektrické energie na vedení VVN a ZVN je doprovázena třemi fyzikálními jevy, které působí na ztráty. Podle toho, který jev způsobuje ztráty, se obvod dá rozdělit na tři části. Je to proudový obvod, magnetický obvod a elektrický obvod.

1. Proudový obvod

Tento obvod je tvořen samotnými vodiči, kterými protéká elektrický proud. Materiál vodičů klade proudu činný odpor, jehož důsledkem se vodiče zahřívají a dochází ke ztrátám. Tyto ztráty teplem se nazývají Jouleovy ztráty. [14]

$$\Delta P = R \cdot I^2 \quad (W) \quad (3)$$

2. Magnetický obvod

Je to magnetické pole, které se vytváří kolem vodičů při průchodu elektrického proudu. Toto pole je pro přenos elektrické energie nezbytné a proto jej nemůžeme odstranit. Jeho tok je přímo úměrný protékajícímu proudu a indukčnosti vedení:

$$\Phi = L \cdot I \quad (\text{Wb}) \quad (4)$$

3. Dielektrický obvod

Stejně jako vzniká průchodem elektrického proudu kolem vodičů magnetické pole, tak vzniká kolem nich i pole elektrické, které se vytváří mezi dvěma různými potenciály, například mezi vodiči a zemí, nebo vodiči samotnými. Přítomnost tohoto pole kolem vodičů charakterizuje elektrický náboj, který je přímo úměrný napětí a kapacitě vedení:

$$Q = C \cdot U \quad (C) \quad (5)$$

Mezi ztráty způsobené dielektrickým obvodem patří ztráty korunou a ztráty svodem. [14]

2.2 Jouleovy ztráty

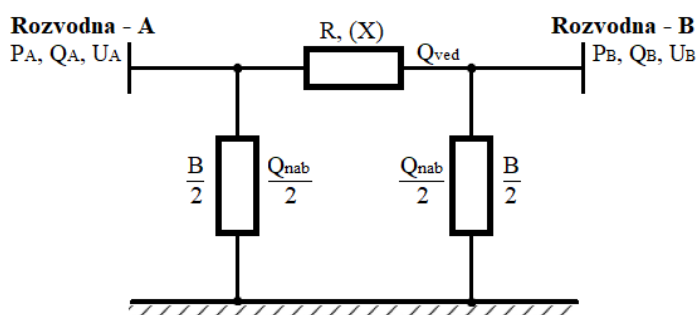
Průchodem elektrického proudu vodičem dochází k pohybu volných elektronů, které předávají svou kinetickou energii částicím krystalové mřížky materiálu vodiče. Tím se zvyšuje kmitání částic a tedy energie vodiče, projevující se zahřátím materiálu a vzniklé teplo, které se nazývá Jouleovo teplo, odevzdávající se do okolí. Čím více má materiál volných elektronů, tím má menší činnou rezistenci (odpor) a je tedy lepším vodičem. [15]

2.2.1 Řešení Jouleových ztrát na vedení VVN a ZVN:

Pro řešení poměrů na dlouhém vedení VVN a ZVN existuje velmi přesná metoda, která dělí vedení na nekonečně velký počet jednotlivých prvků a průběh změn elektrických veličin se řeší podél celého vedení. Tato metoda je však velmi náročná a zdoluhavá a proto se v praxi nahrazuje modelem vedení, tzv. náhradními články „Γ“, „T“, „Π“ a Steimetzovým článkem.

Pro výpočet Jouleových ztrát je nejlepší z důvodu přesnosti výpočtu nahradit model vedení Π – článkem. Při výpočtu pomocí tohoto článku je zanedbána svodová vodivost, která je při řešení technických ztrát řešena zvlášť. [14]

Za pomoci vztahu, který byl odvozen pro tento článek, se dají jednoduše vypočítat Jouleovy ztráty pro různé stavy chodu sítě, a to jen ze znalosti parametrů vedení jako jsou činný odpor R , reaktance X a susceptance B a naměřených hodnot činného výkonu P , jalového výkonu Q a sdruženého napětí U . [14]



Obr. 6: Náhradní π - článek se zanedbaným svodem.

Pro odvození Jouleových ztrát je třeba znát tyto vztahy

Zdánlivý výkon vedení:

$$\underline{S} = P + jQ_{ved} = P + j\left(Q - \frac{Q_{nab}}{2}\right) \quad (VA) \quad (6)$$

Kde Q_{nab} je nabíjecí výkon vedení:

$$Q_{nab} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{nab} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_b} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U \cdot B}{\sqrt{3}} = U^2 \cdot B \quad (var) \quad (7)$$

Dále je možné odvodit vztah pro výpočet Jouleových ztrát na vedení VVN a ZVN:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot \left(\left| \frac{\underline{S}}{\sqrt{3} \cdot U} \right| \right)^2 = 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P^2 + \left(Q - \frac{Q_{nab}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right]^2 \\ &= 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P^2 + \left(Q - \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right]^2 = 3 \cdot R \cdot \frac{P^2 + \left(Q + \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{3 \cdot U^2} \quad (8) \\ &= R \cdot \frac{P^2 + \left(Q + \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{U^2} \quad (MW; \Omega; MW; Mvar; kV; \mu S; kV) \end{aligned}$$

Aby se mohly z praktického hlediska ve vztahu používat jednotky v (MW), (Mvar), (μS) a (kV), zavedla se do vztahu konstanta 10^{-6} . [14]

Výsledný vztah se dá za předpokladu ($G=0$) rozepsat na činné ztráty způsobené tokem činného výkonu a činné ztráty způsobené tokem jalového výkonu.

Činné ztráty způsobené tokem činného výkonu:

$$\Delta P_{\xi} = R \cdot \frac{P^2}{U^2} \quad (W) \quad (9)$$

Činné ztráty způsobené tokem jalového výkonu:

$$\Delta P_j = R \cdot \frac{\left(Q - \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{U^2} \quad (W) \quad (10)$$

Je zapotřebí brát v úvahu, že hodnoty P , Q a U se dosazují ty, které byly naměřeny v příslušném uzlu a respektují se u těchto hodnot znaménka. Pokud je znaménko u činného výkonu kladné, znamená to, že výkon vtéká do uzlu, pokud je znaménko záporné, pak tento výkon z uzlu vytéká. Toto pravidlo platí i pro jalový výkon, kde ale znaménko určuje, zda jde o jalový výkon induktivní či kapacitní. [14]

2.3 Ztráty korunou

Kolem vodičů vedení VVN a ZVN se vytváří svítící modrofialová vrstva doprovázená šumivým až praskajícím zvukem. Tomuto jevu se říká korona a její přítomnost se projeví u ztrát na vedení.

- **Korona**

Korona je neúplný samostatný výboj v nehomogenním poli vznikající u elektrod s malým poloměrem zakřivením. Tento jev vzniká i za normálních atmosférických podmínek a tlaku a je zdrojem ozonu a elektromagnetického rušení.

Pokud se intenzita elektrického pole kolem vodiče blíží elektrické pevnosti prostředí (vzduchu), pak vzniká kritické napětí a tzv. obalová korona. Toto napětí je dáno vztahem:

$$U_0 = 21,1 \cdot \delta \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot r \cdot \ln \frac{d}{r} \quad (kV) \quad (11)$$

Kde, m_1 zahrnuje vliv povrchu vodiče. Pokud je povrch hladký, pak se rovná 1, pokud je špinavý, pak je to 0,98 – 0,92. Pro lana vedení se uvažuje 0,98 – 0,82. Koeficient m_2 zahrnuje vliv počasí, a rovná se 1 pokud je počasí slunečné a 0,8 pokud je vlhké.

Relativní hustota vzduchu je dána vztahem:

$$\delta = \frac{p}{101,3} \cdot \frac{273 + 20}{273 + \vartheta} \quad (-) \quad (12)$$

Ze vztahu pro počáteční napětí korony a relativní hustoty vzduchu je zřejmé, že na vznik korony mají vliv jak atmosférické podmínky, tak i čistota povrchu a konstrukční provedení vodičů. [16]

Ztráty korunou vychází ze vztahu:

$$\Delta P = k \cdot (U_f - U_0)^2 \cdot 10^{-5} \quad (W \cdot m^{-1}) \quad (13)$$

Kde U_f (kV) je fázové napětí a k , je koeficient, který je dále definován:

$$k = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \quad (14)$$

Další způsob pro určení ztrát korunou je dán Petersonovým vztahem:

$$\Delta P = \frac{112 \cdot f \cdot U^2 \cdot F \cdot 10^{-6}}{\left(\ln \frac{d}{r}\right)^2} \quad (kW \cdot km^{-1}) \quad (15)$$

Kde F je koeficient dán vztahem:

$$F = \frac{U}{U_0} + 2 \cdot \ln \frac{U}{U_0} - 1 \quad (-) \quad (16)$$

Omezení korony vyplývá ze vztahů pro počáteční napětí, kde je zřejmé, že vznik korony je ovlivněn poloměrem vodičů. Čím je tedy poloměr vodičů větší, tím je menší riziko vzniku korony. Pro vedení 220 kV a 400 kV je to již nevhodné a proto se používá svazek nejméně ze dvou vodičů, díky kterému se průřez rozdělí mezi tyto vodiče. [14][16]

2.4 Ztráty svodem

Ztráty svodem jsou nedílnou součástí ztrát při přenosu elektrické energie na vedeních vyšší hladiny napětí a tedy na vedení VVN a ZVN. U nižší napěťové hladiny se již tolik neprojevují, jejich velikost je zanedbatelná, a proto se neuvažují.

Ztráty svodem jsou způsobeny nedokonalou izolací izolátorů a dalších izolačních materiálů, protože žádný izolační materiál nemá nekonečně velký izolační odpor a díky vodivosti především povrchu materiálu dochází k toku tzv. svodového proudu, který má činný charakter a proto při tomto toku dochází k činným ztrátám. [14]

Svodový proud je dán vztahem:

$$I_s = \frac{U_f}{R_i} = U_f \cdot G \quad (A) \quad (17)$$

Svodové ztráty jsou dány vztahem:

$$\Delta P_s = 3 \cdot U_f^2 \cdot G = 3 \cdot \left(\frac{U_s}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot G = U_s^2 \cdot G \quad (W) \quad (18)$$

Svodové ztráty se zvyšují s nanesenou vrstvou nečistot na izolátorech, která je způsobena částicemi prachu v ovzduší a závisí na atmosférických podmínkách. Hodnoty naměřených dat svodových ztrát jsou tedy ovlivňovány počasím a také ročním obdobím. Proto se měření těchto ztrát provádí v různých časových rozmezích tak, aby byly naměřená data co nejpřesnější. [14]

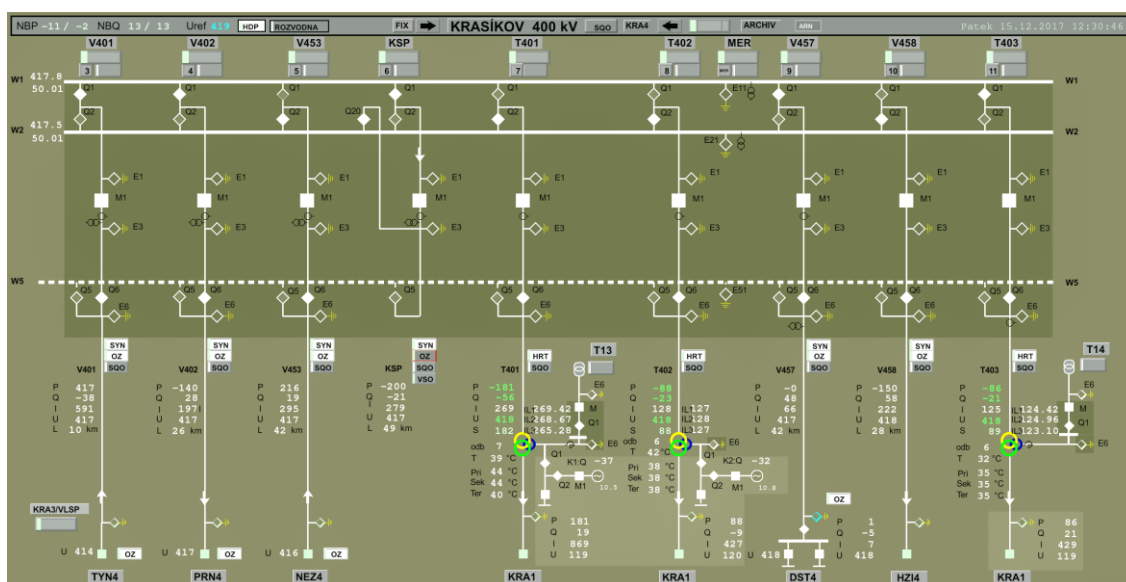
3 Analýza vybrané oblasti vedení PS

V další části této diplomové práce budu několika způsoby analyzovat chod vybrané oblasti vedení České přenosové soustavy na napěťové hladině 400 kV.

Pro analýzu jsem vybral okruh vedení, který je zajímavý tím, že v něm bylo nově zprovozněno jedno z přenosových vedení a to konkrétně V458, které spojuje rozvodny Krasíkov a Horní Životice. Zařazením nového vedení mezi tyto rozvodny se změnily poměry přenášeného výkonu a tím i ztrát, které budu dále analyzovat. Kromě tohoto nového vedení je zde i přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně, která v průběhu každého dne mění svůj chod na generátorický, kdy dodává elektrickou energii do sítě, a chod motorický, kdy tuto energii ze sítě naopak spotřebovává. V motorickém chodu jede proto, aby mohla přečerpat vodu, která se dostala při generátorickém režimu do spodní nádrže, zpět do nádrže vrchní. Tyto změny v síti bude taktéž zajímavé sledovat. Celkový okruh vedení bude rozebrán v další části.

Pro analýzu daného okruhu vedení ZVN využiji tzv. databáze měřených hodnot, které vytvořila a následně dodala společnost zabývající se energetikou. Hodnoty v databázích jsou vymyšlené tak, aby teoreticky odpovídaly praktickým hodnotám. Databáze byla poskytnuta vždy z jednoho týdne v měsíci za období srpna až prosinec roku 2017 a měsíc únor roku 2018, který vykazoval nejnižší teploty (arktický týden). Všechna data jsou tedy z doby, kdy se připravovalo zprovoznění vedení V458 a dobu, kdy již bylo v plném provozu. Tím se mi poskytla možnost porovnat chod této sítě před a po zprovoznění tohoto vedení.

Databáze skutečných měřených hodnot se vytváří měřeními na každém vývodu veškerých přenosových stanic (*obr. 7*). Pomocí PTP a PTN se provádí měření proudu I a napětí U pro různé roční období při časových intervalech po 15 minutách. Na základě těchto hodnot jsou dále počítány přenášený činný výkon, jalový výkon a činné ztráty. Kromě měření těchto veličin se provádí ještě měření okolní teploty v každé rozvodně. Tyto naměřená data mi byly taktéž poskytnuty.



Obr. 7: Ukázka schématu rozvodny Krasíkov z energetického dispečinku.

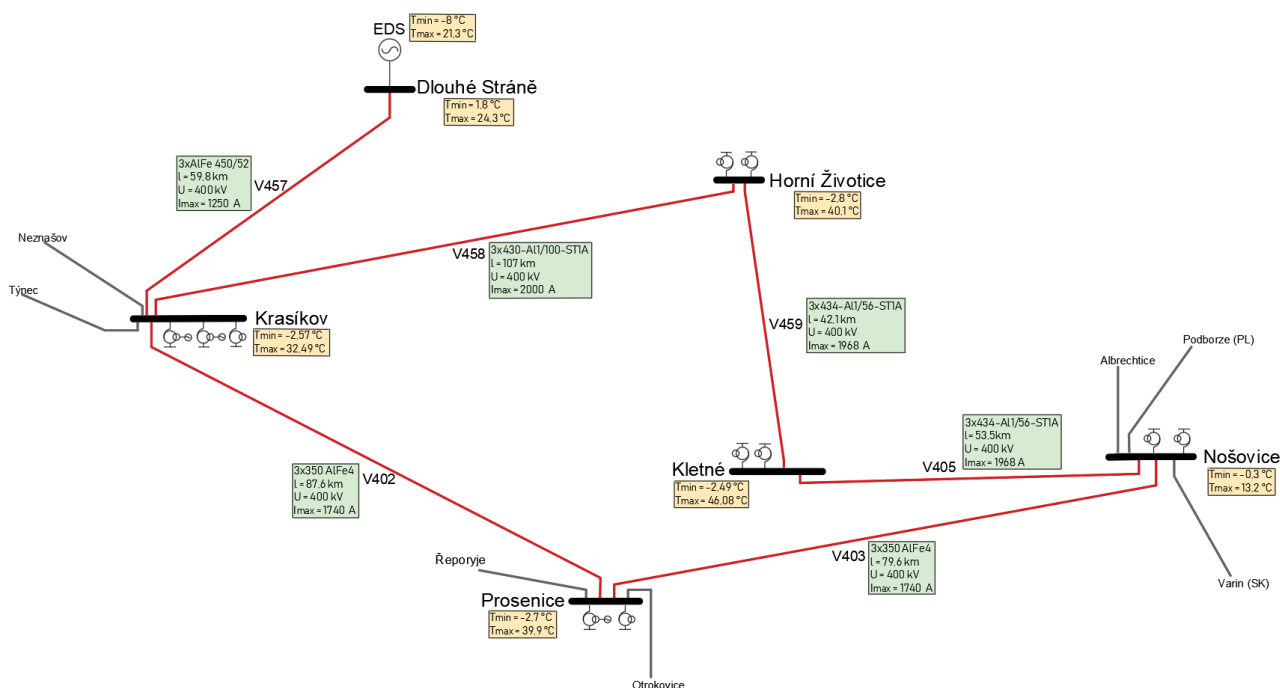
Výsledky těchto měření se zobrazují na energetickém dispečinku (obr. 8) a následně jsou archivovány do souboru ve formátu Microsoft Excel. Kromě měřených dat se na dispečinku zobrazují i data estimovaná, která jsou vypočtená. Dále lze na dispečinku vidět veškerá měřená data a podle nutnosti ovládat celou přenosovou soustavu z jednoho místa.

ZTRÁTY															
Celkové ztráty				Vedení 400 kV											
EST Transf.		10.06		OPF Transf.		10.07		EST Ved.		154.509		OPF Ved.		154.06	
EST Ved.		175.72		OPF Ved.		175.08		EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
EST Ved. pro obchod 140.68				OPF Ved. pro obchod 139.23				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
WAMS) 139.23				WAMS) 139.23				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
EST CEPS 185.78				OPF CEPS 185.15				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
EST CEPS pro obchod 150.75				OPF CEPS pro obchod 149.30				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
WAMS) 149.30				WAMS) 149.30				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
CEPS obch.mereni 178.59				CEPS obch.mereni 178.59				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
CEPS obch.mereni 178.36				CEPS obch.mereni 178.36				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
Graf ztrát OM				Graf ztrát OM				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
Graf ztrát OM				Graf ztrát OM				EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
Hraniční vedení 400 kV															
EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
V404		1.969		1.961		V443		2.112		2.076		V482		0.001	
V424		5.182		5.184		V444		0.452		0.376		V483		0.156	
V437		4.806		4.827		V445		8.681		8.680		V484		0.117	
V438		4.806		4.827		V446		8.545		8.544		V485		0.131	
V441		4.680		4.701		V497		4.197		4.197		V486		0.133	
V442		0.005		0.004		V498		0.005		0.004		V487		0.000	
Hraniční vedení 220 kV															
EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.		EST ztr.		OPF ztr.	
V243		0.093		0.091		V246		0.113		0.119		V254		1.753	
V244		0.093		0.091		V270		0.131		0.127		V255		1.753	
V245		0.476		0.462		V280		0.873		0.875		V256		1.753	
Vedení 220 kV															
EST Ved.		pro obchod 20.18		(WAMS) 20.18		EST Ved.		21.208		OPF Ved.		21.02			
V201		1.454		1.452		V209		0.136		0.139		V225		0.844	
V202		0.949		0.960		V210		0.194		0.190		V226:HRA		0.409	
V203		1.806		1.825		V211		0.481		0.481		V226:VTZ		0.000	
V204		1.038		1.040		V216		1.935		1.915		V226:VYS		0.423	
V205		0.137		0.137		V221		1.142		1.118		V226		0.490	
V206		0.100		0.100		V222		1.142		1.118		V251		0.895	
V207		0.585		0.606		V223		0.349		0.289		V252		0.895	
V208		0.144		0.166		V224		0.349		0.289		V253		1.753	
Blok. Vedení															
V001		0.000		0.000		V002		0.000		0.000		V011		0.078	
V012		0.000		0.000		V013		0.000		0.000		V014		0.238	
V015		0.000		0.000		V016		0.000		0.000		V017		0.238	
V018		0.000		0.000		V019		0.000		0.000		V020		0.199	
V021		0.000		0.000		V022		0.000		0.000		V023		0.199	
V024		0.000		0.000		V025		0.000		0.000		V026		0.199	
V027		0.000		0.000		V028		0.000		0.000		V029		0.199	
V030		0.000		0.000		V031		0.000		0.000		V032		0.199	
V033		0.000		0.000		V034		0.000		0.000		V035		0.199	
V036		0.000		0.000		V037		0.000		0.000		V038		0.199	
V039		0.000		0.000		V040		0.000		0.000		V041		0.199	
V042		0.000		0.000		V043		0.000		0.000		V044		0.199	
V045		0.000		0.000		V046		0.000		0.000		V047		0.199	
V048		0.000		0.000		V049		0.000		0.000		V050		0.199	
V051		0.000		0.000		V052		0.000		0.000		V053		0.199	
V054		0.000		0.000		V055		0.000		0.000		V056		0.199	
V057		0.000		0.000		V058		0.000		0.000		V059		0.199	
V060		0.000		0.000		V061		0.000		0.000		V062		0.199	
V063		0.000		0.000		V064		0.000		0.000		V065		0.199	
V066		0.000		0.000		V067		0.000		0.000		V068		0.199	
V069		0.000		0.000		V070		0.000		0.000		V071		0.199	
V072		0.000		0.000		V073		0.000		0.000		V074		0.199	
V075		0.000		0.000		V076		0.000		0.000		V077		0.199	
V078		0.000		0.000		V079		0.000		0.000		V080		0.199	
V081		0.000		0.000		V082		0.000		0.000		V083		0.199	
V084		0.000		0.000		V085		0.000		0.000		V086		0.199	
V087		0.000		0.000		V088		0.000		0.000		V089		0.199	
V090		0.000		0.000		V091		0.000		0.000		V092		0.199	
V093		0.000		0.000		V094		0.000		0.000		V095		0.199	
V096		0.000		0.000		V097		0.000		0.000		V098		0.199	
V099		0.000		0.000		V100		0.000		0.000		V101		0.199	
V102		0.000		0.000		V103		0.000		0.000		V104		0.199	
V105		0.000		0.000		V106		0.000		0.000		V107		0.199	
V108		0.000		0.000		V109		0.000		0.000		V110		0.199	
V111		0.000		0.000		V112		0.000		0.000		V113		0.199	
V114		0.000		0.000		V115		0.000		0.000		V116		0.199	
V117		0.000		0.000		V118		0.000		0.000		V119		0.199	
V120		0.000		0.000		V121		0.000		0.000		V122		0.199	
V123		0.000		0.000		V124		0.000		0.000		V125		0.199	
V126		0.000		0.000		V127		0.000		0.000		V128		0.199	
V129		0.000		0.000		V130		0.000		0.000		V131		0.199	
V132		0.000		0.000		V133		0.000		0.000		V134		0.199	
V135		0.000		0.000		V136		0.000		0.000		V137		0.199	
V138		0.000		0.000		V139		0.000		0.000		V140		0.199	
V141		0.000		0.000		V142		0.000		0.000		V143		0.199	
V144		0.000		0.000		V145		0.000		0.000		V146		0.199	
V147		0.000		0.000		V148		0.000		0.000		V149		0.199	
V150		0.000		0.000		V151		0.000		0.000		V152		0.199	
V153		0.000		0.000		V154		0.000		0.000		V155		0.199	
V156		0.000		0.000		V157		0.000		0.000		V158		0.199	
V159		0.000		0.000		V160		0.000		0.000		V161		0.199	
V162		0.000		0.000		V163		0.000		0.000		V164		0.199	
V165		0.000		0.000		V166		0.000		0.000		V167		0.199	
V168		0.000		0.000		V169		0.000		0.000		V170		0.199	
V171		0.000		0.000		V172		0.000		0.000		V173		0.199	
V174		0.000		0.000		V175		0.000		0.000		V176		0.199	
V177		0.000		0.000		V178		0.000		0.000		V179		0.199	
V180		0.000		0.000		V181		0.000		0.000		V182		0.199	
V183		0.000		0.000		V184		0.000		0.000		V185		0.199	
V186		0.000		0.000		V187		0.000		0.000		V188		0.199	
V189		0.000		0.000		V190		0.000		0.000		V191		0.199	
V192		0.000		0.000		V193		0.000		0.000		V194		0.199	
V195		0.000		0.000		V196		0.000		0.000		V197		0.199	
V198		0.000		0.000		V199		0.000		0.000		V200		0.199	
V201		0.000		0.000		V202		0.000		0.000		V203		0.199	
V204		0.000		0.000		V205		0.000		0.000		V206		0.199	
V207		0.000		0.000		V208		0.000		0.000		V209		0.199	
V210		0.000		0.000		V211		0.000		0.000		V212		0.199	
V213		0.000		0.000		V214		0.000		0.000		V215		0.199	
V216		0.000		0.000		V217		0.000		0.000		V218		0.199	
V219		0.000		0.000		V220		0.000		0.000		V221		0.199	
V222		0.000		0.000		V223		0.000		0.000		V224		0.199	
V225		0.000		0.000		V226		0.000		0.000		V227		0.199	
V228		0.000		0.000		V229		0.000		0.000		V230		0.199	
V231		0.000		0.000		V232		0.000		0.000		V233		0.199	
V234		0.000		0.000		V235		0.000		0.000		V236		0.199	
V237		0.000		0.000		V238		0.000		0.000		V239		0.199	
V240		0.000		0.000		V241		0.000		0.000		V242		0.199	
V243		0.000		0.000		V244		0.000		0.000		V245		0.199	
V246		0.000		0.000		V247		0.000		0.000		V248		0.199	
V249		0.000		0.000		V250		0.000		0.000		V251		0.199	
V252		0.000		0.000		V253		0.000		0.000		V254		0.199	
V255		0.000		0.000		V256		0.000		0.000		V257		0.199	
V258		0.000		0.000		V259		0.000		0.000		V260		0.199	
V261		0.000		0.000		V262		0.							

Tab. 5: Tabulka řešeného okruhu vedení PS.

ŘEŠENÝ OKRUH VEDENÍ PS			
Vedení PS	Rozvodna A	Rozvodna B	Délka vedení PS
V457	Dlouhé Stráně	Krasíkov	59,8 km
V458	Krasíkov	Horní Životice	107 km
V459	Horní Životice	Kletné	42,1 km
V402	Krasíkov	Prosenice	87,6 km
V403	Prosenice	Nošovice	79,6 km
V405	Nošovice	Kletné	53,5 km

Pro lepší přehled jsem vytvořil následující schéma řešeného okruhu vedení, ve kterém jsem vyznačil základní parametry, jako jsou: druh vodičů, délka vedení, provozované napětí a maximální zatěžovací proud. Kromě těchto parametrů, jsem zde vyznačil i maximální a minimální naměřené teploty, které jsem taktéž získal z naměřených dat za období, ve kterém provádím analýzu.



Obr. 10: Schéma řešeného okruhu vedení PS.

3.1.1 Parametry vedení

Pro výpočty ztrát a celkovou analýzu je třeba znát skutečné parametry vedení, které jsem dostal k dispozici spolu s měřeními databázemi. Kromě výše uvedených parametrů jsou v tabulce i parametry jako je činný odpor R , reaktance X a susceptance vedení B , hodnoty přirozeného výkonu P_p , nabíjecího jalového výkonu Q_{nab} a vlnové impedance Z_v .

Tab. 6: Parametry vedení k roku 2017.

Číslo vedení	Rozvodna A	Rozvodna B	Délka [km]	Druh vodiče [mm ²]	U_n [kV]	I_{max} [A]	R [Ω]	X [Ω]	B [μS]	P_p [MW]	Q_{nab} [MVar]	Z_v [Ω]
V457	Krasíkov	D. Stráně	59,8	3x AlFe 450/52	400	1500	1,55	17,1	230	587	36,8	273
V458	Krasíkov	Horní Životice	107	3x 430-AL1/100-ST1A	400	2000	2,51	31,34	429	592	68,6	270
V459	Horní Životice	Kletné	42,1	3x 434-AL1/56 ST1A	400	1968	0,97	11,79	166	600	26,6	267
V402	Krasíkov	Prosenice	87,6	3x 350 AlFe 4	400	1740	2,57	26,5	354	585	56,6	274
V403	Prosenice	Nošovice	79,6	3x 350 AlFe 4	400	1740	2,28	23,87	280	548	44,8	292
V405	Kletné	Nošovice	53,5	3x 434-AL1/56 ST1A	400	1968	1,2	14,97	210	600	60,2	267

3.2 Databáze měřených ztrát

Jak již bylo řečeno, pro tvorbu této diplomové práce byla poskytnuta databáze měřených hodnot šesti vybraných vedení PS. K dispozici jsem dostal pět databází, kde každá z nich je vytvořena měřením za určitý týden daného měsíce. Konkrétně to jsou:

- **Srpen** (13. 8. – 20. 8. 2017),
- **Září** (10. 9. – 17. 9. 2017),
- **Říjen** (15. 10. – 22. 10. 2017),
- **Listopad** (12. 11. – 19. 11. 2017),
- **Prosinec** (10. 12. – 17. 12. 2017),
- **Únor** (24. 2 – 5. 3. 2018).

Databáze měřených ztrát obsahují měřené hodnoty přenášeného činného a jalového výkonu (P ; Q), Technické ztráty pro dané vedení (P_{ztr}), napětí (U), proud (I) a teploty okolního vzduchu (T_{venk}). Veškerá měřená data, kromě technických ztrát byla naměřena na začátcích a koncích vedení, a tedy v každé rozvodně tohoto okruhu.

Dále se v databázích kromě časového horizontu měření rozlišují i roční období podle daného měsíce na období letní – L a období zimní – Z.

Měřené hodnoty jsou rozdělené do sloupců, kde každý sloupec určuje jinou měřenou veličinu pro dané vedení. Sloupce pro dané vedení jsou označeny zkratkou vývodu dané stanice, ze které je začátek či konec vedení měřen, dále je tam kódové označení daného vedení a nakonec značka měřené veličiny. Pro příklad si vezmeme označení **cKRA4:V402:P**, kde zkratka KRA4 znamená, že se jedná o měření v rozvodně Krasíkov, vývod 4. Dále lze z označení vedení V402 říct, že se jedná o vedení 400 kV, protože toto označení začíná číslicí čtyři. Pro vedení 220 kV pak začíná toto označení číslicí dvě. V poslední řadě je na konci značka P, která říká, že jde o měřené hodnoty činného výkonu.

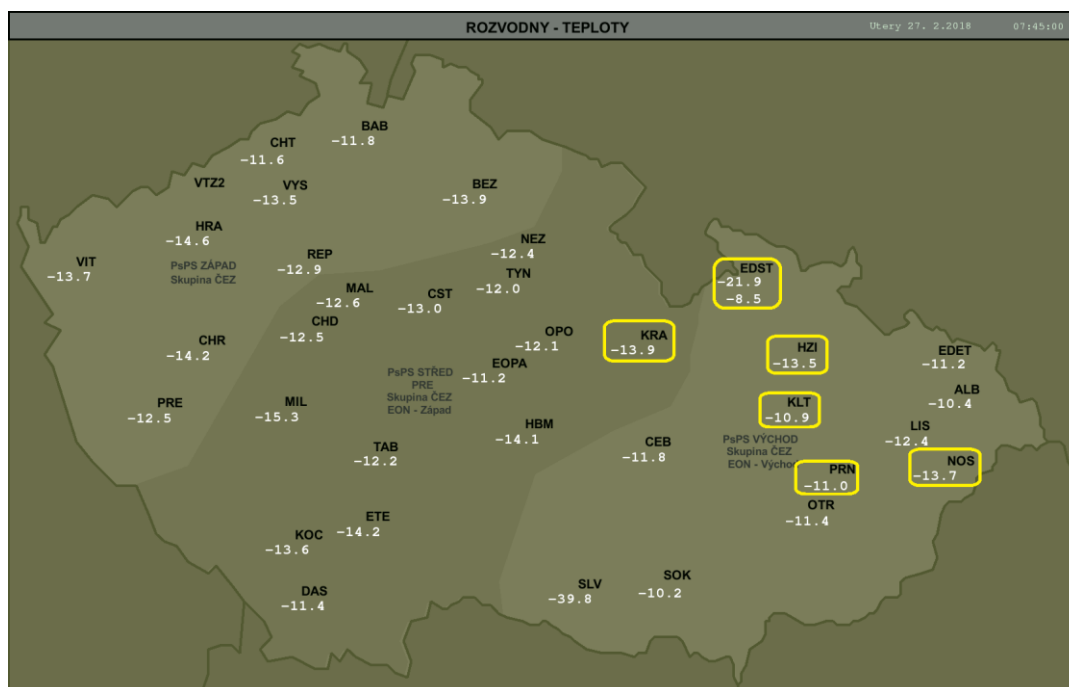
Tab. 7: Ukázka databáze měřených hodnot pro letní období roku 2017.

Cas	C:KRA:4:V402:P	C:KRA:4:V402:Q	C:KRA:4:V402:U	C:KRA:4:V402:I	C:PRN:4:V402:P	C:PRN:4:V402:Q	C:PRN:4:V402:U	C:PRN:4:V402:I	C:V402:P_ztr	C:PRN:T_venk	C:KRA:T_venk
10.9.2017 24:00:00 L	-116,21	68,69	413,92	199,88	110,156	-13,9677	415,932	152,75	0,158455	16,0039	13,02
11.9.2017 00:15:00 L	-70,61	75,14	414,1	157,87	74,5175	-15,7677	416,721	102,244	0,0982573	16,0664	13,01
11.9.2017 00:30:00 L	-76	72,35	413,76	151,61	70,286	-17,4273	416,05	106,474	0,0881752	16,0664	13,03
11.9.2017 00:45:00 L	-58,07	69,85	414,08	148,82	60,5195	-14,1636	416,251	89,9832	0,0458762	16,0977	12,96
11.9.2017 01:00:00 L	-15,7	72,61	414,59	117,85	14,7611	-15,4056	416,941	36,1846	0,0265376	15,9102	12,88
11.9.2017 01:15:00 L	0,39	69,05	414,09	113,6	-2,21082	-10,5385	416,603	29,744	0,0241965	15,7227	12,83
11.9.2017 01:30:00 L	-4,09	68,87	414,17	113,23	2,03404	-10,0352	416,585	31,1025	0,0216142	15,8164	12,86
11.9.2017 01:45:00 L	-5,28	70,07	414,34	118	6,24593	-11,6217	416,814	35,9311	0,021624	15,8164	12,81
11.9.2017 02:00:00 L	1,96	72,3	414,21	116,7	4,38691	-11,7825	416,492	36,1599	0,0174017	15,6602	12,79
11.9.2017 02:15:00 L	-45,63	70,51	413,82	131,75	42,0671	-10,7186	416,379	58,6034	0,0386741	15,6602	12,75
11.9.2017 02:30:00 L	-52,83	72,53	414	130,77	49,2863	-12,8629	416,459	64,0203	0,0361814	15,5664	12,83
11.9.2017 02:45:00 L	-58,11	72,22	413,92	150,08	68,2295	-14,8574	416,388	100,561	0,0450111	15,6914	12,77
11.9.2017 03:00:00 L	-38,42	69,24	413,89	122,61	28,1928	-10,6961	415,936	49,3876	0,0306028	15,5039	12,73
11.9.2017 03:15:00 L	-33,2	71,44	414,07	123,87	27,1859	-12,8428	416,685	52,184	0,032425	15,4102	12,79
11.9.2017 03:30:00 L	-52,61	69,7	413,98	132,48	43,6046	-14,2151	415,978	77,6454	0,0525861	15,3164	12,79
11.9.2017 03:45:00 L	-88,22	70,22	413,66	165,13	86,3327	-13,9874	416,405	122,592	0,119309	15,4102	12,86
11.9.2017 04:00:00 L	-36,99	75,08	414,29	132,06	38,5576	-17,3831	416,931	61,4219	0,0559695	15,6289	12,88
11.9.2017 04:15:00 L	-47,04	69,94	413,83	138,18	54,6959	-11,1362	415,793	85,8896	0,0686124	15,5039	12,83
11.9.2017 04:30:00 L	-41,62	70,03	414,25	120,23	38,074	-10,4562	416,14	56,6762	0,046388	15,3789	12,81
11.9.2017 04:45:00 L	-62,08	68,11	414,03	139,9	53,4863	-7,98636	415,999	84,3363	0,081144	15,4102	12,81
11.9.2017 05:00:00 L	-45,77	65,33	414,27	118,97	34,2877	-4,99246	416,049	50,6218	0,0330921	15,4102	12,83
11.9.2017 05:15:00 L	-108,73	62,52	413,64	186,84	107,735	-8,92931	415,199	150,17	0,16675	15,3789	12,86
11.9.2017 05:30:00 L	-96,05	65,48	413,39	174,79	106,802	-9,25263	415,234	143,906	0,118045	15,2852	12,86
11.9.2017 05:45:00 L	-143,94	54,93	413,25	210,67	142,8	-0,207859	414,552	195,427	0,315179	15,2852	12,83

Při analýze poskytnutých databází jsem zjistil, že některé ztráty jsou větší než 0, i když je vedení vypnuto. To lze považovat za chybu, a proto tyto hodnoty nebudou při další analýze použity. Dále si lze všimnout, že se u činného výkonu objeví někdy znaménko mínus a někdy plus. To značí směr toku výkonu od stanice, ve které dochází k měření. To samé platí i pro jalový výkon, s tím rozdílem, že zde znaménko značí, zda jde o kapacitní (+), nebo induktivní charakter (-).

3.3 Analýza teploty na vedení PS

Jelikož budu analyzovat technické ztráty i v závislosti na teplotě okolí, zaměřím se první na analýzu samotných teplot, které jsou součástí dodaných databází.



Obr. 11: Mapa měřených venkovních teplot v ČR ze dne 27. 2. 2018 vybraného týdnu 24. 2. – 5. 3. 2018, u kterého byly nejnižší naměřené teploty..

Teplota okolního vzduchu se měří vždy na začátku a konci daného vedení a to přímo v rozvodně. Proto je nutné ještě před samotným vyhodnocením spočítat průměrnou teplotu mezi dvěma rozvodnami příslušného vedení. Tento krok je možné provést pouze v rámci České republiky, protože nemá příliš velkou rozlohu, a naměřené teploty jsou po celé republice přibližně stejné. Toho si lze všimnout například na mapě ČR, kde jsou vyznačeny teploty. Pokud by byl rozdíl teplot v rozvodnách příliš velký, potom bychom se zprůměrováním dopustili chyby, která by nepříznivě ovlivnila další analýzu.

$$T = \frac{T_A + T_B}{2} = \frac{-14,58 + (-13,57)}{2} = -14,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (19)$$

Tab. 8: Tabulka úpravy teploty vedení V459 vybraného arktického týdne 24. 2. – 5. 3. 2018.

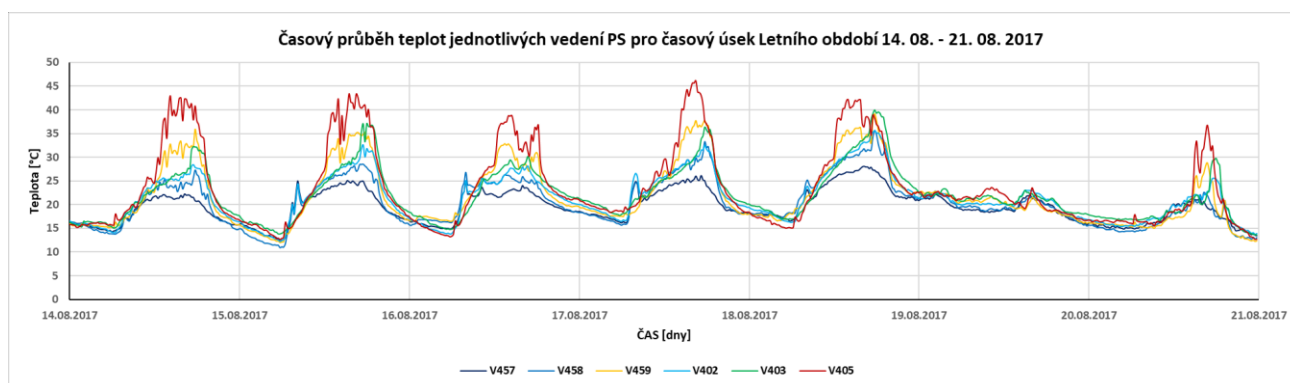
DATUM A ČAS [Dny a Minuty]	T _A [°C]	T _B [°C]	T [°C]
01.03.2018 4:30	-14,58	-13,57	-14,1
01.03.2018 4:45	-14,95	-13,68	-14,3
01.03.2018 5:00	-14,35	-14,35	-14,4
01.03.2018 5:15	-15,03	-14,54	-14,8
01.03.2018 5:30	-15,10	-14,91	-15,0
01.03.2018 5:45	-15,48	-14,76	-15,1
01.03.2018 6:00	-15,78	-15,06	-15,4

Z vypočtených hodnot jsem následně vytvořil grafy časových průběhů teplot pro každý týden v měsíci a ročním období daného vedení PS. Analýzu jsem rozdělil do dvou částí podle ročního období, na letní a zimní. Každé období pak obsahuje tři grafy.

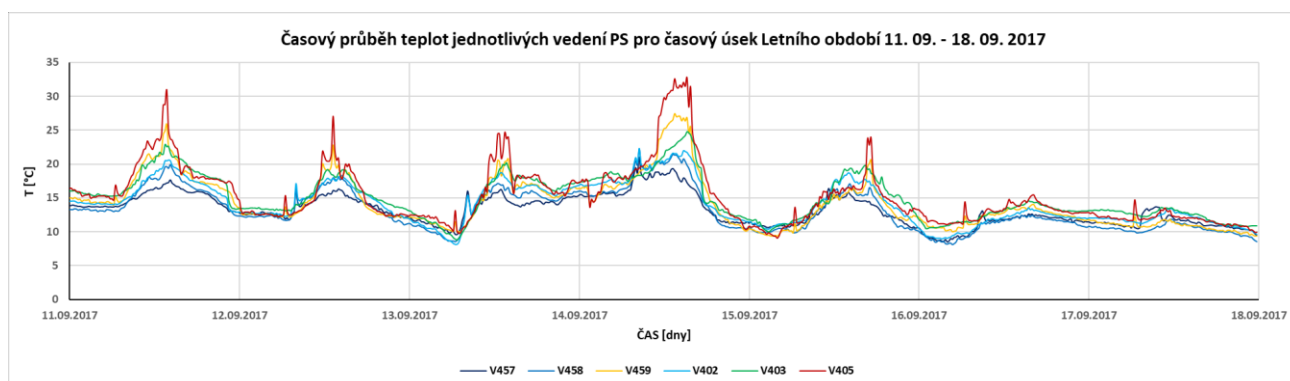
3.3.1 Letní období:

V tomto ročním období budu analyzovat teploty vedení PS pro tyto týdny a měsíce:

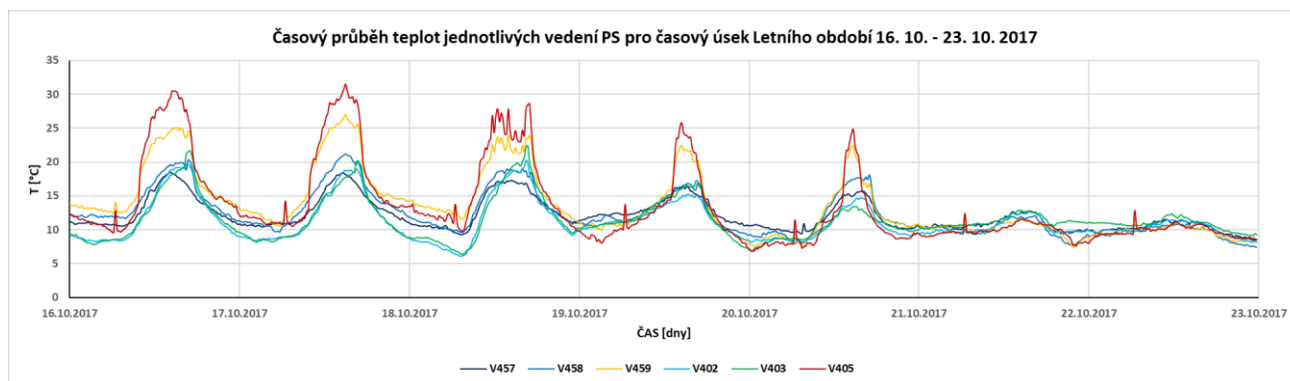
- **Srpen** (13. 8. – 20. 8. 2017)
- **Září** (11. 9. – 18. 9. 2017)
- **Říjen** (16. 10. – 23. 10. 2017)



Graf. 1: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 14. 8. - 21. 8. 2017.



Graf. 2: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 11. 9. - 18. 9. 2017.



Graf. 3: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 16. 10. - 23. 10. 2017.

Z grafů, které znázorňují průměrné teploty vedení tří různých týdnů v letním období je vidět, že se teplota v průběhu každého týdne periodicky mění v závislosti na tom, zda je den či noc. Dále lze pozorovat, že teploty jednotlivých vedení jsou různé. To si lze vysvětlit především různou polohou příslušných vedení, ale také umístěním čidla, které může být nevhodné a znamená pak, že paprsky slunečního svitu dopadají přímo na něj a měřená teplota je příliš vysoká.

Špatné umístění čidla je pravděpodobně u vedení V405, které spojuje rozvodny Nošovice a Kletné. Z naměřených dat lze vyvodit, že špatně umístěné čidlo je v rozvodně Kletné, kde byla naměřena nejvyšší teplota až 46 °C. Stejný problém zaznamenáváme i u vedení V459, které spojuje rozvodny Kletné a Horní Životice.

Průměrně se nejvyšší teploty pohybovaly v srpnu, kde dosahovaly k hranici 30 °C. Každý následující měsíc se maximální teplota snižovala přibližně o 5 °C. Nejnižší naměřená teplota byla 5,7 °C v rozvodně Krasíkov, v říjnu, který je z těchto posuzovaných měsíců nejchladnější.

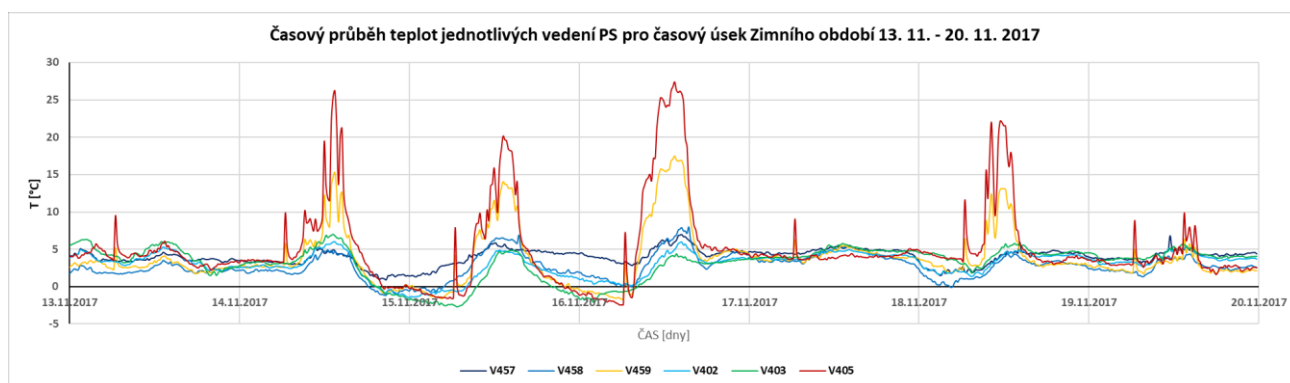
Co se týče posouzení spočtené průměrné teploty jednotlivých vedení, největších teplot dosahovalo vedení V405, na které zároveň působily největší změny teplot, protože se pohybovaly od 12 °C do 46 °C v srpnu, od 9 °C do 32 °C v září a od 7 °C do 32 °C v říjnu. Z toho se dá vyvodit, že by u tohoto vedení měli být největší změny technických ztrát v závislosti na teplotě.

Naopak nejnižší teplotou bylo zatěžováno vedení V457, kde byla nejmenší naměřená teplota v září a to 8 °C. Toto vedení je zároveň vedení, na které působí nejmenší změny teplot, protože se pohybovaly od 12 °C do 28 °C v srpnu, od 8 °C do 21 °C v září a od 9 °C do 19 °C v říjnu. Na tomto vedení by tedy neměly být změny technických ztrát vlivem teploty příliš velké.

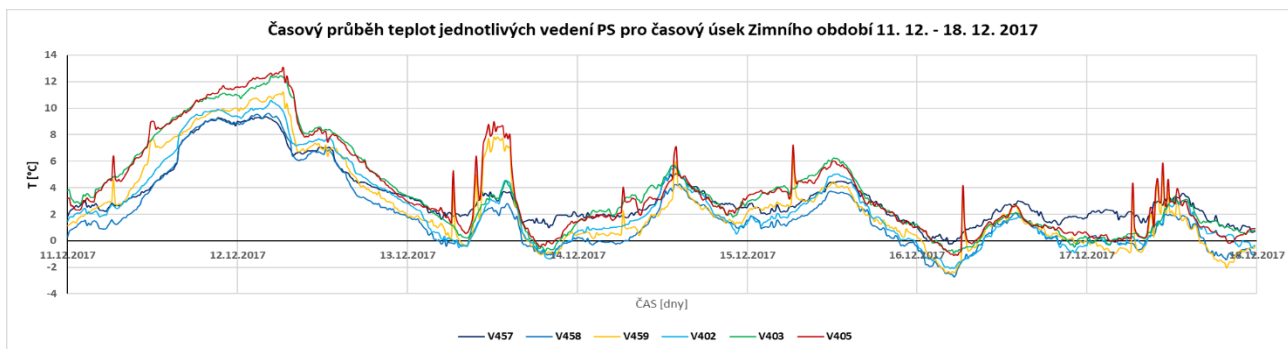
3.3.2 Zimní období:

V tomto ročním období budu analyzovat teploty vedení PS pro tyto týdny a měsíce:

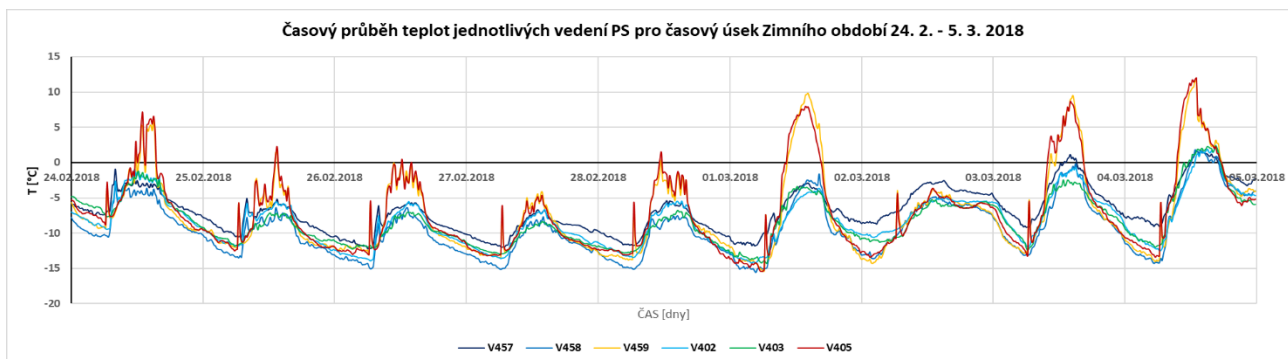
- **Listopad** (13. 11. – 20. 11. 2017)
- **Prosinec** (11. 12. – 18. 12. 2017)
- **Únor** (24. 2. – 5. 3. 2018)



Graf. 4: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 13. 11. - 20. 11. 2017.



Graf. 5: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval zimního období 11. 12. - 18. 12. 2017.



Graf. 6: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval zimního období 24. 2. - 5. 3. 2018.

Stejně jak tomu bylo u teplot v letním období, tak i v zimním období se teplota vzduchu periodicky mění s dnem a nocí. Tento periodický průběh je zřejmý v každém hodnoceném týdnu až na týden v listopadu (13. 11. – 20. 11. 2017), u kterého je změna v průběhu dne a noci minimální. Dále lze pozorovat u všech týdnů špatné umístění čidla vedení V405 a V459, které pak zkreslují výsledné hodnoty měření. Například v únoru (24. 2. – 5. 2. 2018), lze pozorovat u těchto vedení to, že i když jsou všude přes den teploty pod nulou, tak u těchto vedení dosahuje teplota až 12 °C nad nulou.

Nejteplejší týden byl v listopadu (13. 11. – 20. 11. 2017), kde se teploty přes den a noc pohybovaly s minimální změnou. Teplota se průměrně pohybovala okolo 4 °C. Jen v noci 15. - 16. 11 klesly teploty k nule. Nejchladnější týden byl v únoru (24. 2. – 5. 2. 2018), o kterém se dá prohlásit, že šlo o arktický týden, protože teplota vzduchu se po celou dobu držela pod nulou a klesla až k -15 °C.

Co se týče posouzené spočtené průměrné teploty jednotlivých vedení, tak budu vyhodnocovat nejprve listopad s prosincem (2017) a poté zvlášť týden v únoru (2018), který byl arktický.

Nejvyšších teplot dosahovalo vedení V405, na které zároveň působily největší změny teplot, pohybující se od -3 °C do 27 °C v listopadu a od -1 °C do 13 °C v prosinci. Naopak nejnižší teplotou bylo zatěžováno vedení V457 a V405, kde nejmenší naměřená teplota byla v listopadu a to -3 °C. Na vedení V457 působí zároveň nejmenší změny teplot, pohybovaly se od 1 °C do 7 °C v listopadu a od 0 °C do 9 °C v prosinci.

V únoru (2018) se veškeré teploty pohybovaly pod nulou. Nejvyšší teplota byla u vedení V403 a to 2 °C (4. 3. 2018 – 16:30). Naopak nejnižší teploty byly u nového vedení V458, kde teplota klesla až na -16 °C (1. 3. 2018 – 4:45). Největší změny teplot byly na vedeních V405 a V459, u kterých se teplota pohybovala od -15 °C do 11 °C. Tato teplota je nicméně ovlivněna špatným umístěním čidla. Naopak nejmenší změny teplot byly u vedení V457. Teplota se u něj pohybovala od -12 °C do 2 °C. O tomto týdnu se dá říct, že je arktický a proto lze přepokládat, že ztráty ovlivněné teplotou by měly být nejmenší.

4 Využití softwarů k analýze ztrát na vedení PS

V této kapitole stručně popíšu dva softwary, které využiji pro následující analýzu technických ztrát z měřených databází. Kromě těchto dvou softwarů, zde poukážu ještě na jeden, který ale nebudu dále v této DP využívat. Vložím jej zde jen proto, že svou funkcí dal základ jednomu z použitých softwarů.

4.1 Softwary pro vyhodnocení ztrát na vedení PS:

- **Predikce ztrát na vedení PS**

Software „Predikce ztrát na vedení PS“ byl vytvořen v Microsoft Visual Basic Professional a slouží k predikci Jouleových ztrát, ztrát korunou a ztrát svodem se závislostí na okolní teplotě. Výsledky výpočtů je možné vykreslit pomocí grafů a také uložit do tabulek, které lze exportovat.

Největší nevýhoda tohoto programu je fakt, že nepracuje i se závislostí na přenášeném výkonu, která je mnohem větší než závislost ztrát na teplotě. Proto s tímto programem nebudu dále pracovat.

- **Ztráty na vedení**

Stejně jako předchozí program byl i tento vytvořen v Microsoft Visual Basic Profesional. Program je velmi jednoduchý a na základě správně vložených databází dokáže vypočítat a následně graficky vykreslit Jouleovy ztráty, ztráty korunou a ztráty svodem na vedení PS v závislosti na přenášeném výkonu a parametru vedení.

Nevýhoda tohoto softwaru spočívá v opačném problému než u předchozího programu, jelikož software pracuje pouze na základě přenášeného výkonu a nebere v úvahu teplotu vedení.

- **Optimalizace provozu vedení PS**

Tento software spojuje funkci dvou předchozích, a tedy vypočítává technické ztráty s ohledem na přenášený výkon a teplotu okolního vzduchu. Software byl vytvořen v programu Microsoft Excel pro diplomovou práci (Využití softwarových prostředků pro výpočty technických ztrát u vedení přenosové soustav – Bc. Antonín Šamaj).

Stejně jako předchozí programy vyhodnocuje data z databází měřených hodnot činného výkonu a teplot na začátku a konci jednotlivých vedení. Na základě dvou teplotních rozsahů, které si navolíme, vytvoří aproximační polynom 2. řádu a dosazením činného výkonu vypočte Jouleovy ztráty.

Budoucí využití těchto softwarů:

Všechny tyto programy mají jednu společnou nevýhodu. Touto nevýhodou je fakt, že samotné programy pracují z již archivovaných databází a tedy databází, které nemusí být aktuální. Proto by bylo nejlepší, kdyby byly připojené na aktuální měření a pracovaly v online režimu. V takovém případě by se dal lépe vyhodnocovat chod vedení a předejít nepříznivým stavům.

4.2 Analýza ztrát v zahraničí:

Problematikou ztrát elektrické energie a samotnou analýzou provozu přenosových vedení se zabývá mnoho lidí, jak u nás v České republice, tak i v zahraničí. Proto existuje nespočet programů, které řeší jak provoz vedení, tak i ztráty.

Jelikož většina těchto programů pak patří energetickým společnostem, které si je chrání nebo je nabízí za poplatek, tak zde vyjmenuji kromě jednoho programu i akademické publikace, zabývající se touto problematikou.

- **Placený software globální společnosti:**

Při hledání na internetu jsem narazil na Americkou společnost **Etap**, která je globálním lídrem na trhu v oblasti modelování, návrhu, analýzy, optimalizace, řízení a dalších řešení energetické problematiky.

Tato firma vyvinula software **Load flow Analysis**, který má nespočet funkcí. Pro tuto diplomovou práci jsou nejzajímavější funkce analýzy provozu přenosových vedení s ohledem na zatížení, toky výkonů a ztrát činného výkonu. [17]

- **Publikace zabývající se problematikou ztrát na vedení:**

Kromě toho, že jsem hledal v sektoru firem s praktickými softwary, tak jsem hledal i v řadách akademických publikací, na webových stránkách Web of Science, Scopus a ScienceDirect. Na těchto stránkách jsem našel publikace:

- 1) ***Predictive Models of Current, Voltage, and Power Losses on Electric Transmission Lines***

Tato publikace řeší predikci technických ztrát při přenosu daného výkonu na určitou vzdálenost. K predikci se zde využívá konstanta, kterou se přenásobí přenášený výkon a vzdálenost vedení, a tím se získá přibližná hodnota ztrát. Díky této možnosti není zapotřebí složitý software, který by ztráty počítal. [18]

- 2) ***A hybrid MACO and BFOA algorithm for power loss minimization and total cost reduction in distribution systems***

Tento článek se zabývá správným umístěním statického kompenzačního systému STATCOM do elektrické sítě, který dorovná výkyvy jalových výkonů a snižuje tak i ztráty na vedení, tímto výkonem způsobené. Pro vytvoření modelu byl využit software Simulink matlab. [19]

5 Analýza technických ztrát softwarem – Ztráty na vedení

V této kapitole diplomové práce budu provádět analýzu technických ztrát na vedení PS pomocí softwarů Ztráty na vedení a Microsoftu Excelu. Abych mohl přejít na samotnou analýzu, musel jsem se nejprve seznámit se samotným programem a doplnit jej o nová měřená data z databází, která mi byla poskytnuta pro tuto práci.

Vstupní data

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, program pracuje na základě databází měřených hodnot a parametrů jednotlivých vedení, dodaných energetickou společností. Protože dodané databáze obsahují veškerá měřená data v jednom souboru Microsoft Excel, musel jsem nejprve tato data rozdělit do několika sekcí, které jsou pak vstupními daty programu.

- *Parametry vedení*
- *Měřené hodnoty P a Q*
- *Měřené hodnoty U a I*
- *Koeficient F pro ztráty korunou*
- *Koeficient C pro ztráty svodem*
- *Zkratky názvů vedení*

Pro příklad jak taková upravená vstupní databáze vypadá, jsem zvolil ukázkou databáze s měřenými hodnotami P a Q. V tabulce (tab. 11) lze vidět, jak jsem rozdělil datum a čas do dvou sloupců a také hodnoty činného a jalového výkonu jednotlivých vedení. Stejným způsobem jsem upravil i ostatní vstupní databáze. Veškeré upravené a aktualizované databáze jsou přiloženy k této diplomové práci.

Tab. 9: Ukázka části databáze s měřenými hodnotami P a Q.

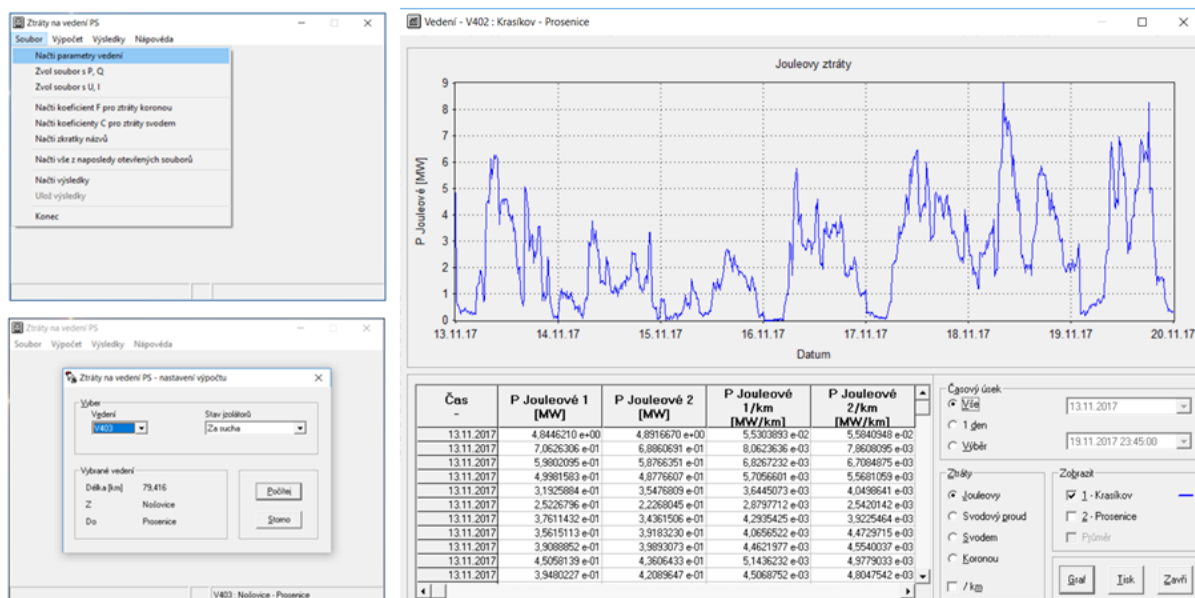
-		cKRA4:V402:P	cKRA4:V402:Q	cPRN4:V402:P	cPRN4:V402:Q	cPRN4:V403:P	cPRN4:V403:Q
[Datum]	[Čas]	Krasíkov[MW]	[Mvar]	Prosenice[MW]	[Mvar]	[MW]	[Mvar]
13.08.2017	24:00:00 L	-288,58	36,29	289,537	9,65322	-79,542	25,5158
14.08.2017	0:15:00 L	-342,24	42,11	341,275	-0,293831	-114,417	35,0604
14.08.2017	0:30:00 L	-350,58	41,14	345,904	-0,397208	-126,42	37,5634
14.08.2017	0:45:00 L	-339,24	39,08	345,261	2,40934	-140,878	32,08
14.08.2017	1:00:00 L	-311,17	38,89	319,506	5,44585	-175,123	31,9357
14.08.2017	1:15:00 L	-295,96	41,98	293,559	2,6216	-171,305	34,2783
14.08.2017	1:30:00 L	-300,84	39,31	304,198	5,13803	-186,49	33,0912

Tab. 10: Ukázka databáze s parametry vedení.

Číslo vedení	Rozvodna A	Rozvodna B	I _{max} (A)	Délka (km)	R (Ω)	X (Ω)	B (μS)	P _p (MW)	Q _{nab} (Mvar)	Z _v (Ω)	U _n (kV)
V402_	KRASÍKOV	PROSENICE	1740	87,6	2,57	26,5	354	585	56,6	274	400
V403_	PROSENICE	NOŠOVICE	1740	79,6	2,28	23,87	280	548	44,8	292	400
V405_	KLETNÉ	NOŠOVICE	1968	53,5	1,2	14,97	210	600	60,2	267	400
V457_	KRASÍKOV	DLOUHÉ STRÁNĚ	1500	59,8	1,55	17,1	230	587	36,8	273	400
V458_	KRASÍKOV	HORNÍ ŽIVOTICE	2000	107	2,51	31,34	429	592	68,6	270	400
V459_	HORNÍ ŽIVOTICE	KLETNÉ	1968	42,1	0,97	11,79	166	600	26,6	267	400

Práce se softwarem

Po spuštění tohoto programu se musí nejprve načíst vstupní databáze, které se vkládají skrze menu programu „**Soubor**“. Po načtení všech databází zvolíme tlačítko „**výpočet**“, ve kterém si nastavíme dané vedení, pro které chceme ztráty vypočítat, a stav vodivosti izolátorů, vzhledem k počasí. Poté co si navolíme tyto možnosti, přejdeme pomocí tlačítka „**počítej**“, k samotnému výpočtu. Následně je možné pomocí tlačítka „**výsledky**“ zobrazit časové průběhy ztrát, nebo si tato data uložíme přes „**Soubor**“ v programu do Microsoft Excelu.



Obr. 12: Ukázka softwaru Ztráty na vedení.

5.1 Analýza vedení PS

V programu jsem vypočetl pro každé vedení ztráty Jouleovy ΔP_j , korunou ΔP_k a svodem ΔP_s , které jsem následně uložil do tabulkového souboru Microsoft Excel. Dále jsem součtem těchto ztrát získal ztráty technické ΔP_{tech} , které jsem následně vykreslil v grafu.

Protože se technické ztráty budou vyhodnocovat v závislosti na přenášeném výkonu, tak jsem pro porovnání společně s těmito ztrátami vykreslil skutečný přenášený výkon z jedné strany P_A , absolutní hodnotu průměrného přenášeného výkonu $P_{(ABS)}$ a tabulkovou hodnotu přirozeného výkonu P_p . Uvedení těchto veličin v jednom grafu mi umožnilo kromě porovnání ztrát a přenášeného výkonu zjistit i způsob provozu vedení s ohledem na přirozený výkon a směr toku výkonu.

Ukázka výpočtu technických ztrát na vedení V402:

$$\Delta P_{tech} = \Delta P_j + \Delta P_s + \Delta P_k = 0,633 + 1,179 + 0,0005 = 1,81 \text{ MW}$$

Ukázka výpočtu technických ztrát na vedení V402:

$$P_{(ABS)} = \frac{|P_A| + |P_B|}{2} = \frac{|-207,5| + |203|}{2} = 205 \text{ MW}$$

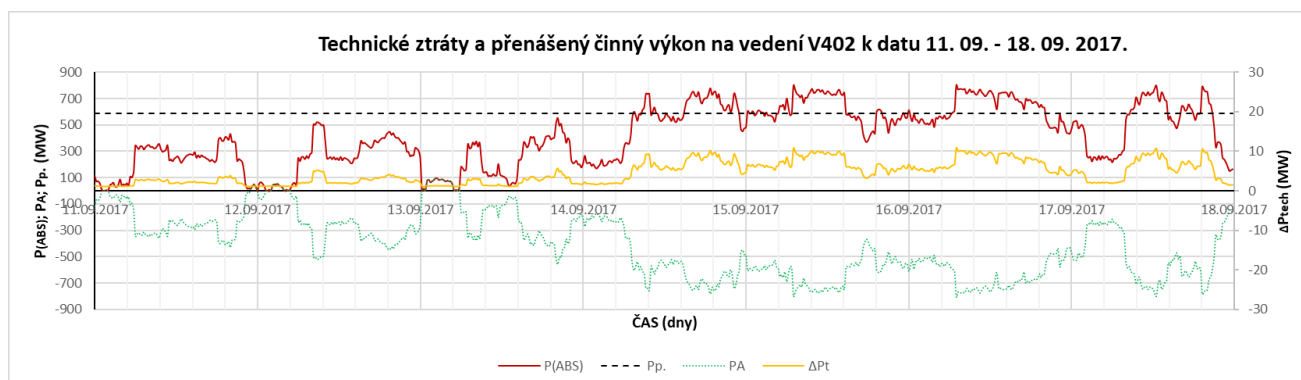
Tab. 11: Ukázka vypočtených ztrát ze SW a technických ztrát na vedení V402 vybraného týdne 24. 2. – 5. 3. 2018.

Datum a Čas [Dny a Minuty]	P _A [MW]	P _B [MW]	P(ABS) [MW]	ΔP _j [MW]	ΔP _k [MW]	ΔP _s [MW]	ΔP _{tech} [MW]	P _p [MW]	T [°C]
24.02.2018 0:00	-207,5	203,0	205	0,633	1,179	0,0005	1,81	585	-7,0
24.02.2018 0:15	-178,1	177,8	178	0,477	1,180	0,0005	1,66	585	-7,1
24.02.2018 0:30	-148,3	151,5	150	0,337	1,179	0,0005	1,52	585	-7,3
24.02.2018 0:45	-119,7	117,1	118	0,206	1,183	0,0005	1,39	585	-7,3
24.02.2018 1:00	-108,7	111,1	110	0,182	1,178	0,0005	1,36	585	-7,4
24.02.2018 1:15	-84,8	79,5	82	0,107	1,179	0,0005	1,29	585	-7,5
24.02.2018 1:30	-91,1	93,0	92	0,131	1,178	0,0005	1,31	585	-7,6

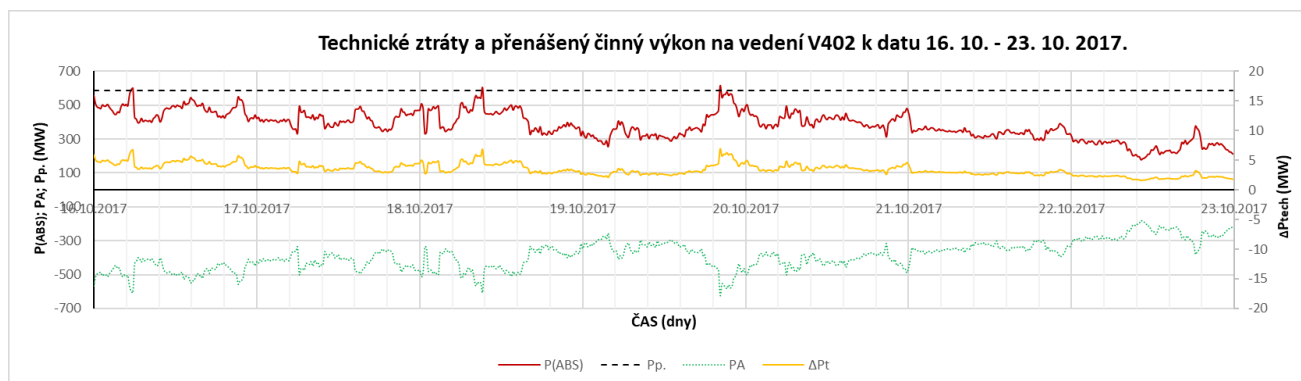
Protože jsou některé vyhodnocené měsíce podobné, tak jsem pro ukázku do DP zvolil pouze čtyři nejzajímavější měření podle ročního období, které dále popíšu (letní období – září a říjen, zimní období - listopad a únor). Ostatní vyhodnocená data společně s tabulkami jsou uvedena v příloze.

Velmi podobné data se týkají měsíce srpen – září, ve kterých je vypnuto vedení V458. Další podobné měsíce jsou listopad – prosinec, ve kterých jsou velmi podobné podmínky chodu jak s ohledem na přenášný výkon tak i na teplotu okolního vzduchu.

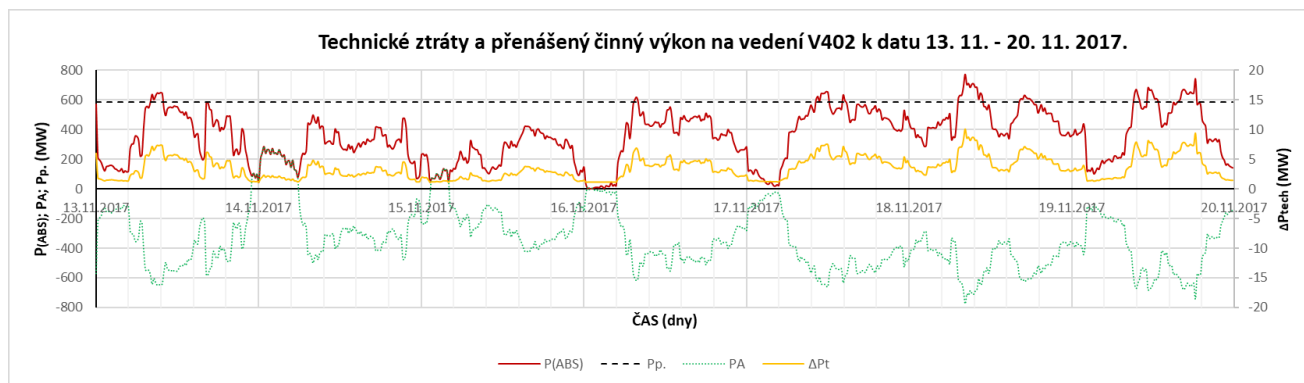
5.1.1 Technické ztráty na vedení V402 (Krasíkov – Prosenice)



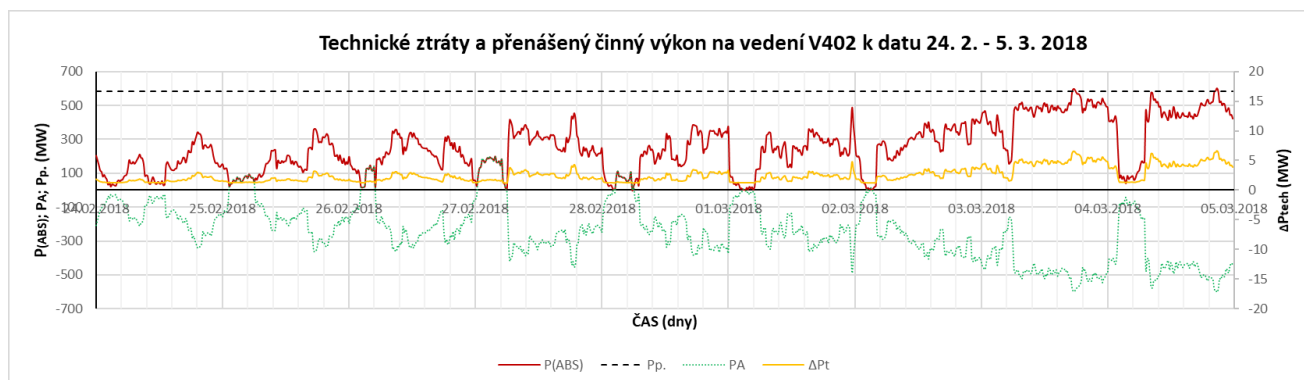
Graf. 7: Ukázka technických ztrát a přenášného výkonu na vedení V402 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 8: Ukázka technických ztrát a přenášného výkonu na vedení V402 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 9: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 13. 11. - 20. 11. 2017.



Graf. 10: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 24. 2. - 5. 3. 2018.

5.1.1.1 Vyhodnocení vedení V402:

Pro vyhodnocení všech vedení jsem zvolil vykreslení grafů s časovými průběhy skutečného přenášeného výkonu, který poukazuje na směr toků výkonu. Dále jsem tento skutečný výkon převedl do absolutní hodnoty, abych jej mohl porovnat s tabulkovou hodnotou přirozeného výkonu a určit tak, zda je vedení provozováno pod nebo nad přirozeným výkonem. Posledním krokem bylo vykreslení technických ztrát, které jsem vypočetl v softwaru – Ztráty na vedení.

Z grafů pro provoz vedení V402 v letním a zimním ročním období lze pozorovat, že skutečný přenášený výkon se téměř po celou dobu měření pohyboval v záporných hodnotách. To značí, že směr toku tohoto výkonu byl z rozvodny Krasíkov, do rozvodny Prosenice. Pokud nastal opačný směr toku a tedy z Prosenic do Krasíkova, tak tomu bylo vždy jen na pár hodin. Tento stav se vyskytl zřídka.

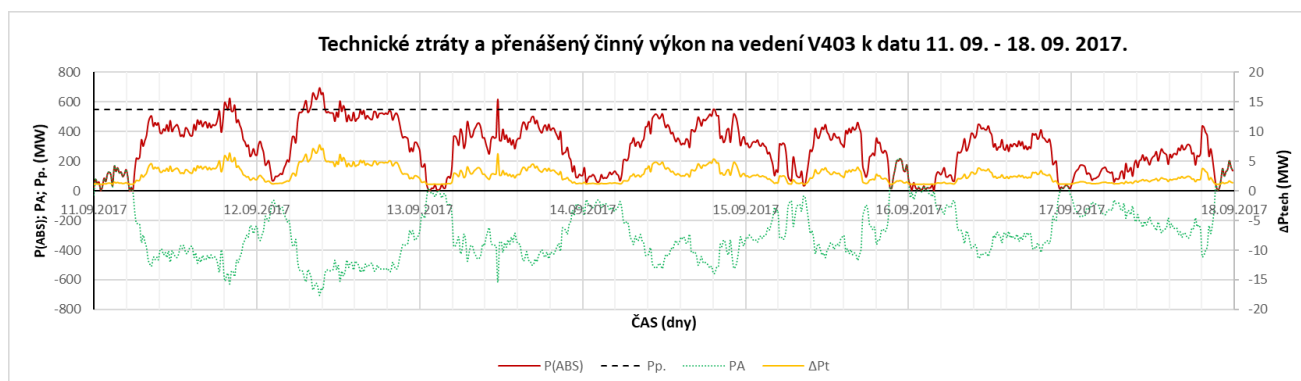
Dále z absolutní hodnoty tohoto výkonu lze vidět, že se v měsících září a listopad dostal tento výkon nad hranici přirozeného výkonu, která u tohoto vedení je na hodnotě 585 MW. To znamená, že se v tomto okamžiku vedení chová jako kapacitní a na jeho konci se indukuje přepětí.

Největší skutečný přenášený výkon byl v září, kde dosahoval až na hodnotu -805 MW, ke které se v tomto měsíci přiblížil hned několikrát. Velmi podobné hodnoty byly i v listopadu, kde skutečný přenášený výkon dosáhl na hodnotu -775 MW. V obou měsících byl tedy překročen přirozený výkon. Nejstabilnější měsíc, co se týče přenášeného výkonu, se jeví říjen, ve kterém se hodnota přenášeného výkonu střídavě pohybuje okolo -400 MW. V únoru se výkon pohyboval průměrně v rozmezí od -100 MW do -300 MW, a na konci týdne vzrostl až na hodnotu -604 MW, která mírně překračuje přirozený výkon.

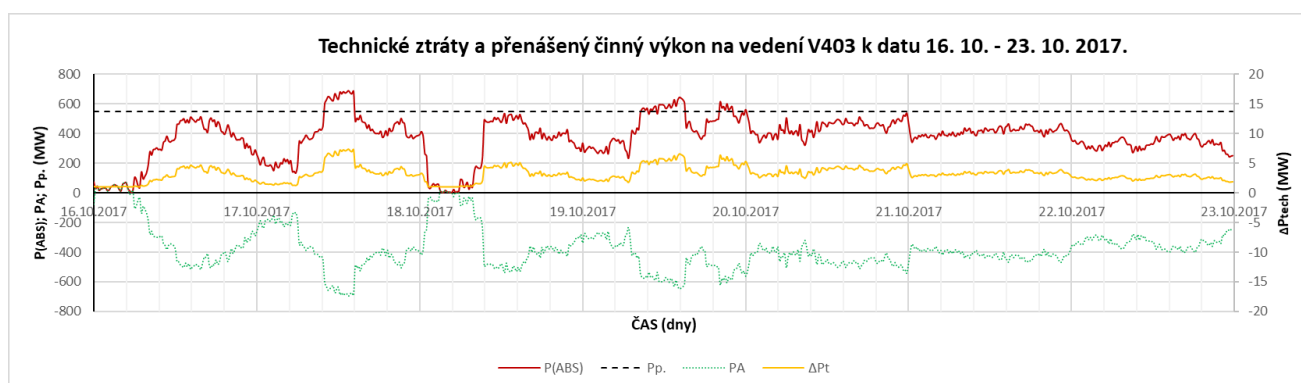
Co se týče technických ztrát na tomto vedení, ty byly největší v září, kde se pohybovaly v rozmezí od 1,17 MW do 10,87 MW, při přenášeném výkonu od -19 MW do -800 MW. Z toho jasně vyplývá, že jsou ztráty z největší části ovlivněné velikostí přenášeného výkonu a tedy proudem, který teče vedením a vytváří tak Jouleovy ztráty, tvořící až 90 % technických ztrát při teplotě 10 °C.

Nejmenší ztráty pak byly v únoru, kde se pohybovaly od 1,16 MW do 6,63 MW při výkonu od -23 MW do -601 MW. V tomto měsíci bylo i nejchladnější, protože teplota, která má na technické ztráty také vliv, zde klesla až na -13 °C. Podíl Jouleových ztrát zde také klesl, a to na 80 % technických ztrát.

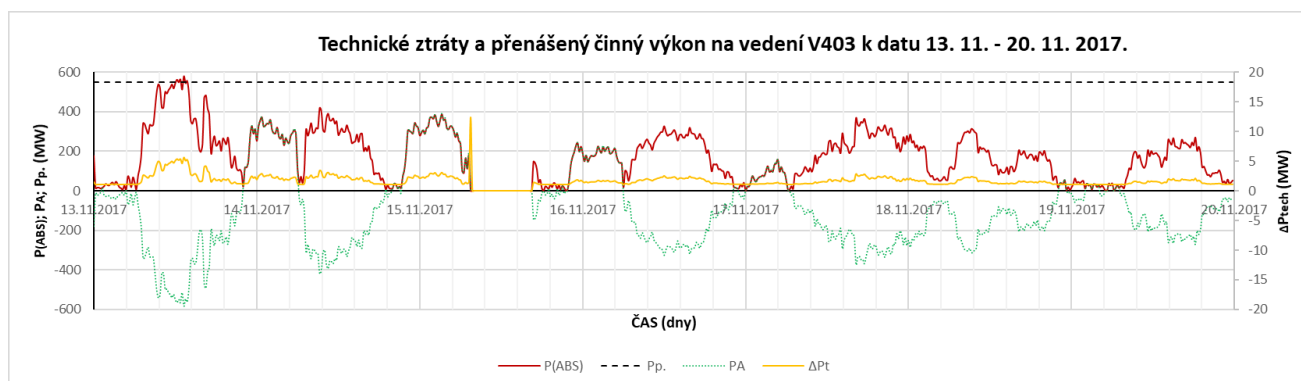
5.1.2 Technické ztráty na vedení V403 (Prosenice - Nošovice)



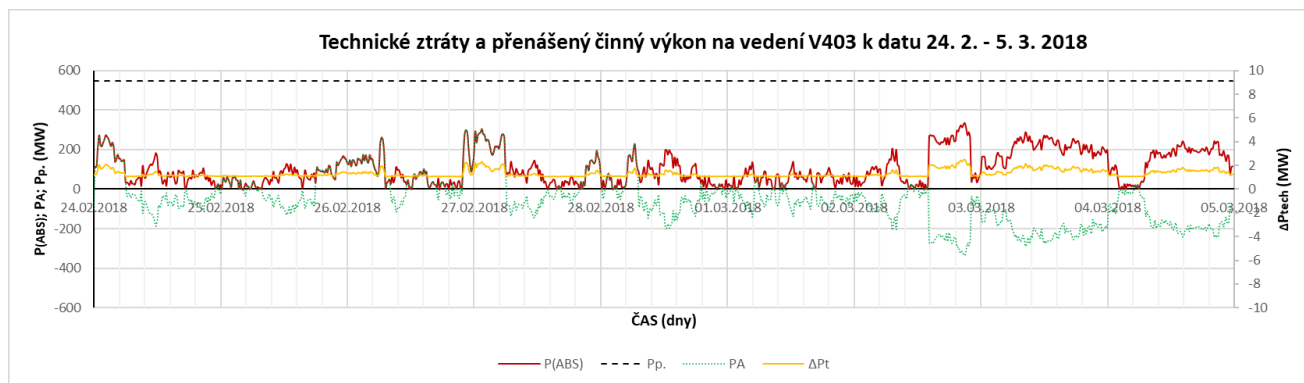
Graf. 11: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 12: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 13: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.



Graf. 14: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 24. 2. - 5. 3. 2018.

5.1.2.1 *Vyhodnocení vedení V403:*

Stejně jako tomu bylo u předchozího vedení, tak i u vedení V403 v letním i zimním období lze pozorovat, že skutečný přenášený výkon se téměř po celou dobu měření pohyboval v záporných hodnotách. To značí, že směr toku tohoto výkonu byl z rozvodny Prosenice, do rozvodny Nošovice. Kromě tohoto běžného chodu lze vidět v zimním období, konkrétně v listopadu a únoru, že dochází k většímu výskytu časových úseků, kdy je tok výkonu opačný (z Nošovic do Prosenic).

Z absolutní hodnoty přenášeného výkonu jde vidět, že se několikrát dostal nad hranici přirozeného výkonu 548 MW, a to v prvních dvou dnech týdne v září a několika dnech v říjnu. Vedení se tedy v letním měsíci chová jako kapacita.

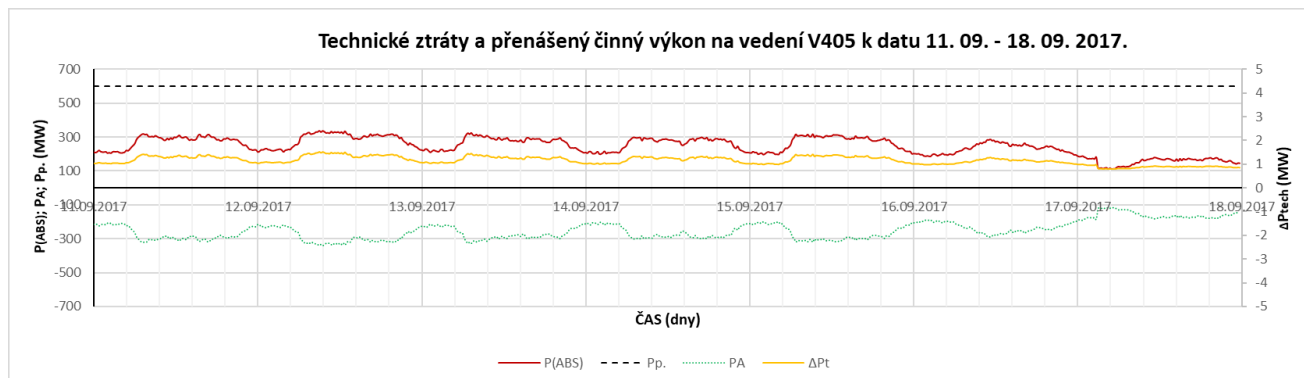
Největší skutečný přenášený výkon byl v září, kde dosahoval až na hodnotu -704 MW, ke které se v tomto měsíci přiblížil pouze jednou; další maxima se pohybovala okolo -600 MW. Podobně zatížený týden byl v říjnu, kdy se skutečný přenášený výkon většinou pohyboval okolo hodnot od -500 MW až -700 MW. V obou měsících byl tedy překročen přirozený výkon. Nejméně zatížený týden pak byl v únoru, kdy se přenášený výkon pohyboval pouze okolo hodnot od -300 MW do 300 MW v obou směrech. V obou směrech se pohyboval i výkon v listopadu, kde se pohyboval v rozmezí od -580 MW do 380 MW.

Co se týče technických ztrát na tomto vedení, tak ty byly největší v září a říjnu, kdy se v obou týdnech pohybovaly v rozmezí od 1 MW do 8 MW, při přenášeném výkonu od -24 MW do -696 MW v září a od -15 MW do -689 MW v říjnu. Podíl Jouleových ztrát se v obou měsících pohyboval okolo 85 % z celkových technických ztrát, při teplotě okolního vzduchu 16 °C.

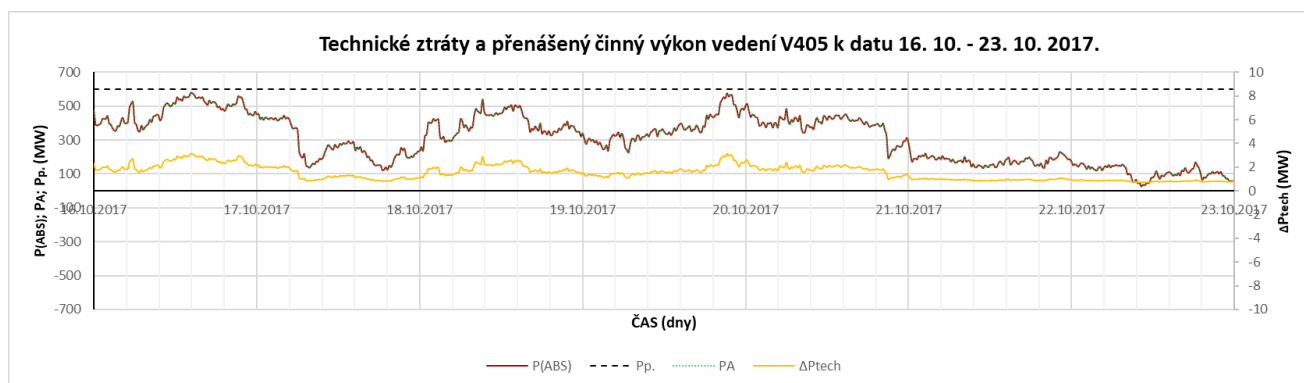
Nejmenší technické ztráty byly v únoru, kdy se pohybovaly od 1,05 MW do 2,52 MW při výkonu od -21 MW do -333 MW. V tomto měsíci bylo i nejchladněji, protože teplota, která má na technické ztráty také vliv, u tohoto vedení klesla až na -8 °C. Podíl Jouleových ztrát zde také klesl a to na 57 % z technických ztrát.

Jak jde vidět, technické ztráty prudce klesli s poklesem přenášeného výkonu a podíl Jouleových ztrát také klesl. To může být dáno jak velikostí přenášeného výkonu, tak i samotnou teplotou.

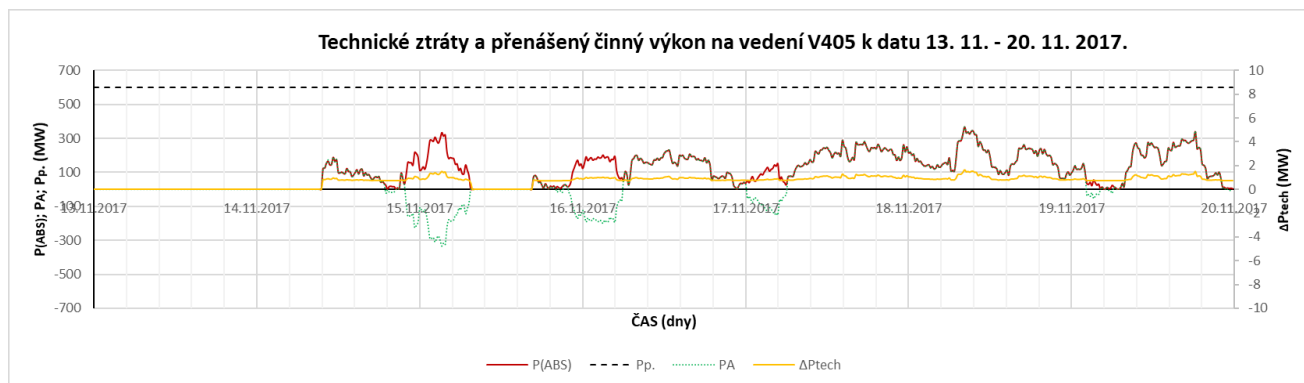
5.1.3 Technické ztráty na vedení V405 (Nošovice - Kletné)



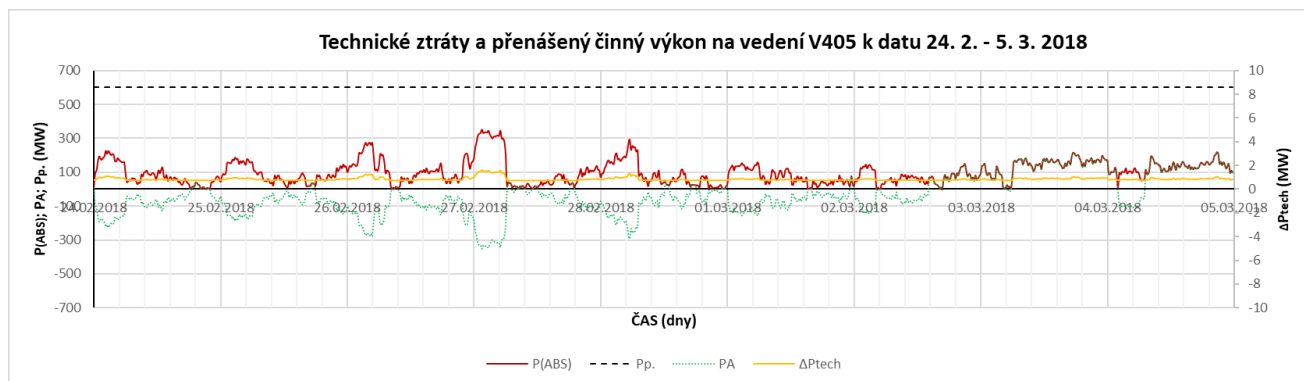
Graf. 15: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 16: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 17: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.



Graf. 18: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.

5.1.3.1 Vyhodnocení vedení V405:

U vedení V405 lze pozorovat, že se směr toku přenášeného výkonu v průběhu roku výrazně mění. Například v září teče výkon z rozvodny Nošovice do rozvodny Kletné. Následující měsíc, říjen teče výkon z rozvodny Kletné do rozvodny Nošovice. Tohoto směru se tok výkonu drží i v převážné části listopadu, kde ale jde vidět, že se třikrát v týdnu otočil. V měsíci únor to na základě vyhodnocených měření vypadá, že se směr toku výkonu otočil zpět, tak jak tomu bylo v září. Tyto změny toku můžeme přisuzovat tomu, že v Září je vedení V458 odpojeno, zatímco v říjnu je připojeno.

Z absolutní hodnoty přenášeného výkonu jde vidět, že se ani jednou za všechny vybrané týdny nepřehoupl přes hranici přirozeného výkonu, který činí 600 MW. Jediný týden, který se k této hranici přiblížil, ale nepřekročil ji, byl v říjnu.

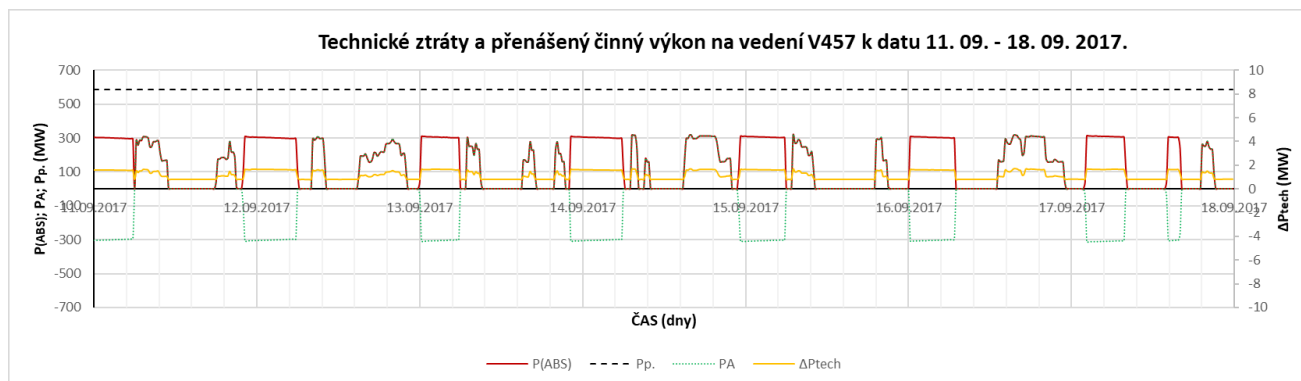
Říjen byl tedy měsíc, ve kterém dosáhl maximální skutečný přenášený výkon největší hodnoty, která činila 578 MW. V porovnání s ostatními měsíci, je tento měsíc výrazně více zatěžován, protože se přenášený výkon po celou dobu pohybuje v rozmezí od 26 MW až 578 MW, kdežto u ostatních měsíců téměř nepřekročil hodnoty 350 MW. Nejméně zatížený týden byl v listopadu, ve kterém bylo toto vedení skoro dva dny vypnuto. Skutečný přenášený výkon se u tohoto týdne pohyboval okolo hodnot od -331 MW do 366 MW v obou směrech. Velmi podobně se jeví i týden v únoru.

Stejně jako souvisely změny směru toků přenášeného výkonu s připojením vedení V458, tak s ním souvisí i velikost tohoto výkonu. Po připojení vedení v měsíci říjen je naměřen největší přenášený výkon, který se v dalších měsících ustálí na hodnotách předcházejících připojení vedení.

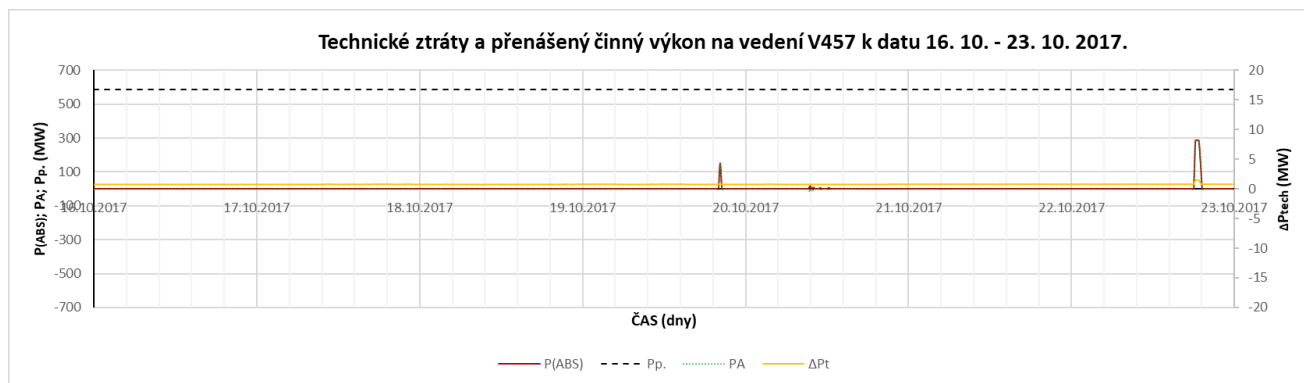
Co se týče technických ztrát na tomto vedení, ty byly největší v říjnu, kde se pohybovaly v rozmezí od 0,72 MW do 3,11 MW, při přenášeném výkonu od 26 MW do 577 MW. Podíl Jouleových ztrát se pohyboval okolo 78 % z celkových technických ztrát, při teplotě okolního vzduchu 10 °C.

Nejmenší technické ztráty byly v únoru, kdy se pohybovaly okolo hodnot od 0,7 MW do 1,6 MW při výkonu od 25 MW do 315 MW. Velmi podobně na tom byly i ostatní měsíce, kdy se ztráty pohybovaly jen o pár desetín MW výše. Teplota tohoto vedení se v únoru pohybovala okolo -12 °C a podíl Jouleových ztrát zde klesl na 55 % z technických ztrát.

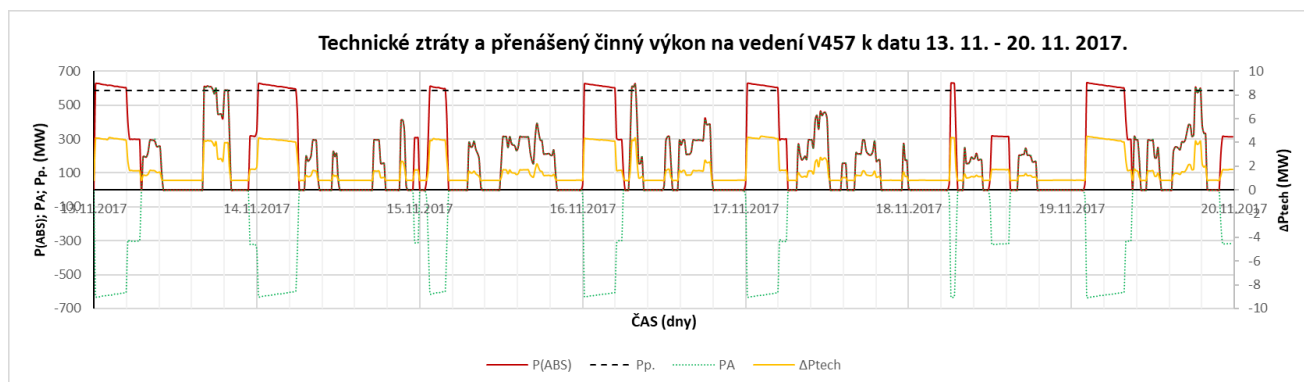
5.1.4 Technické ztráty na vedení V457 (Dlouhé Stráně - Krasíkov)



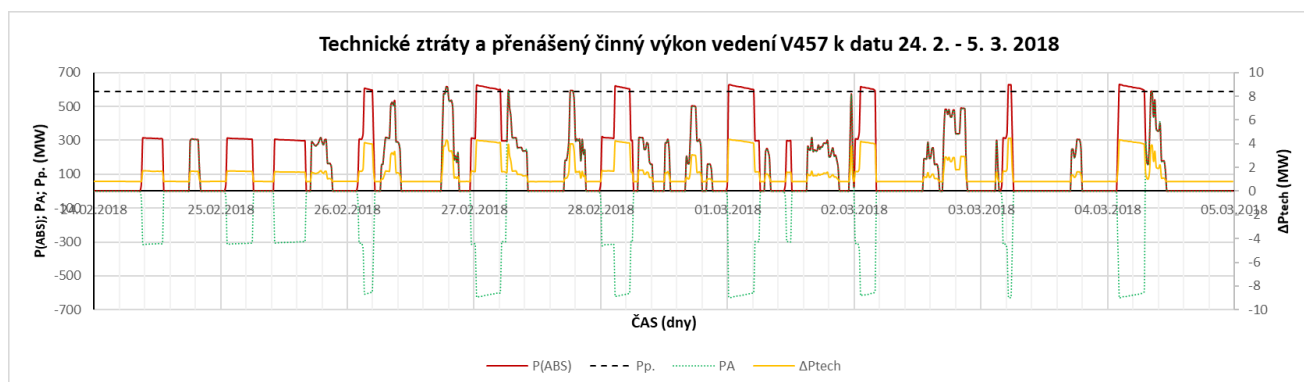
Graf. 19: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 20: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 21: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.



Graf. 22: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.

5.1.4.1 Vyhodnocení vedení V457:

Vedení V457 slouží k vyvedení výkonu z přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně. Z grafů lze vidět, že tok skutečného přenášeného výkonu mění směr a pohybuje se tedy jak v kladných, tak záporných hodnotách. Častá změna směru toku výkonu je dána tím, jak se mění chod elektrárny z generátorického režimu na motorický, kdy elektřinu nevyrábí, ale spotřebovává. Instalovaný výkon přečerpávací elektrárny je 2 x 325 MW, a proto se v těchto hodnotách pohybuje i přenášený výkon po vedení V457. Změna toku výkonu, kdy elektřinu spotřebovává, probíhá každou noc přibližně od půlnoci do 6h ráno. Přes den pak výrobou elektrické energie dorovnává výkonovou bilanci ES.

Kromě změny chodu přečerpávací elektrárny lze pozorovat, že v září je po vedení V457 přenášen maximální výkon pouze o maximální hodnotě 300 MW. To nasvědčuje tomu, že přečerpávací elektrárna jela pouze na jeden generátor, který má instalovaný výkon o velikosti 325 MW. Z celkových dat, vyšel tento týden jako nejméně výkonově zatížen, a proto předpokládám, že i ztráty budou nejmenší.

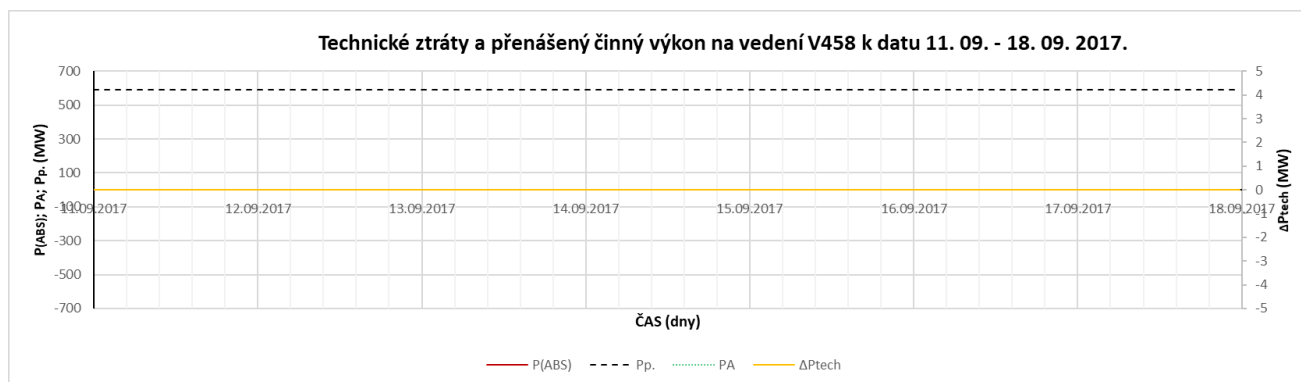
V grafu (graf. 20) pro vybraný týden v měsíci říjnu, lze vidět, že se nepřenáší žádný výkon. To je proto, že vedení V457 bylo po celou dobu tohoto týdne vypnuto. Ztráty by měly být tedy nulové.

Největší přenášený výkon byl v listopadu a únoru, kdy byla mírně překročena i hodnota přirozeného výkonu, který činí 587 MW. V listopadu se skutečný přenášený výkon pohybuje v rozmezí od -634 MW do 623 MW v obou směrech. V únoru je tento výkon v rozmezí od -631 MW do 616 MW. Dále lze pozorovat, že maximální hodnota přenášeného výkonu je vždy záporná. To znamená, že výkon teče směrem k elektrárně Dlouhé Stráně, kde je následně spotřebován. Z toho by se dalo usoudit, že provoz elektrárny je neefektivní. Když se ale podíváme dále na časové průběhy přenášeného výkonu, tak vidíme, že je v záporných hodnotách pouze v nočních hodinách, kdy je v síti nadbytek elektrické energie. Ve dne je pak vyráběný výkon sice poloviční, ale je rozložen po celý den, kdy dorovnáva výkonovou bilanci. Tuto bilanci pak nejvíce dorovnáva ve večerních hodinách.

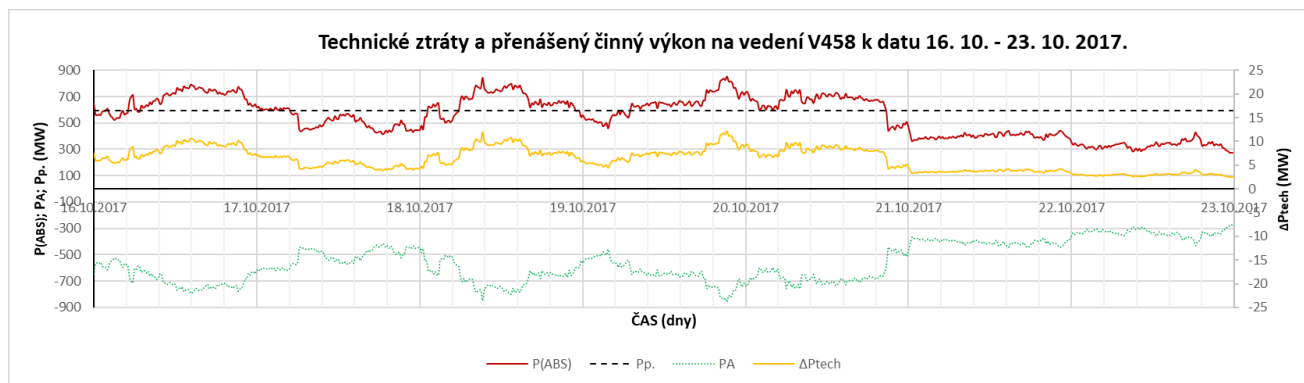
Co se týče technických ztrát, největší byly v listopadu a únoru, kdy byl i největší přenášený výkon. V listopadu činily ztráty od 0,79 MW do 4,53 MW a v únoru od 0,8 MW do 4,48 MW. Podíl Jouleových ztrát se pohyboval okolo 82 % z celkových technických ztrát, při teplotě okolního vzduchu 4 °C v listopadu a -9 °C v únoru.

Nejmenší technické ztráty byly v září, kdy se pohybovaly od 0,79 MW do 1,72 MW při přenášeném výkonu od 9 MW do 317 MW. Teplota tohoto vedení se v září pohybovala okolo 13 °C a podíl Jouleových ztrát zde klesl na 54 % z technických ztrát.

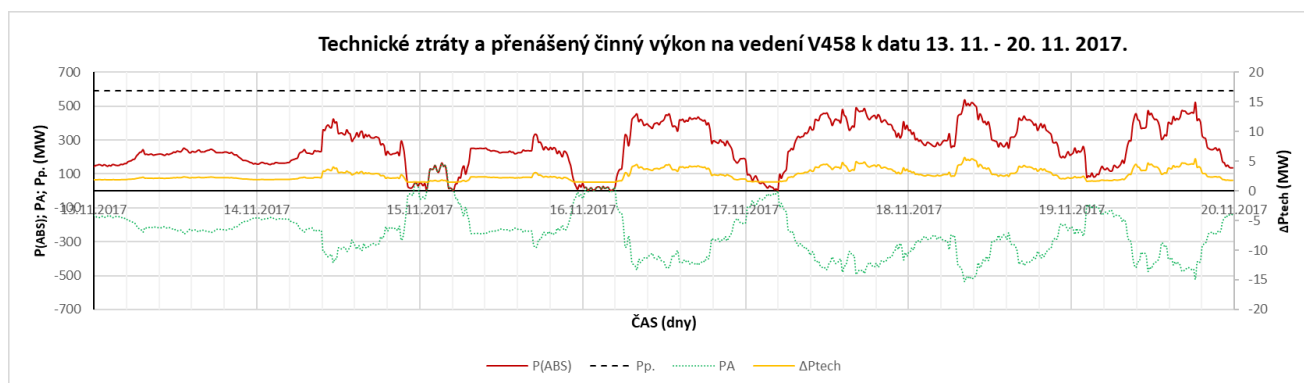
5.1.5 Technické ztráty na vedení V458 (Krasíkov – Horní Životice)



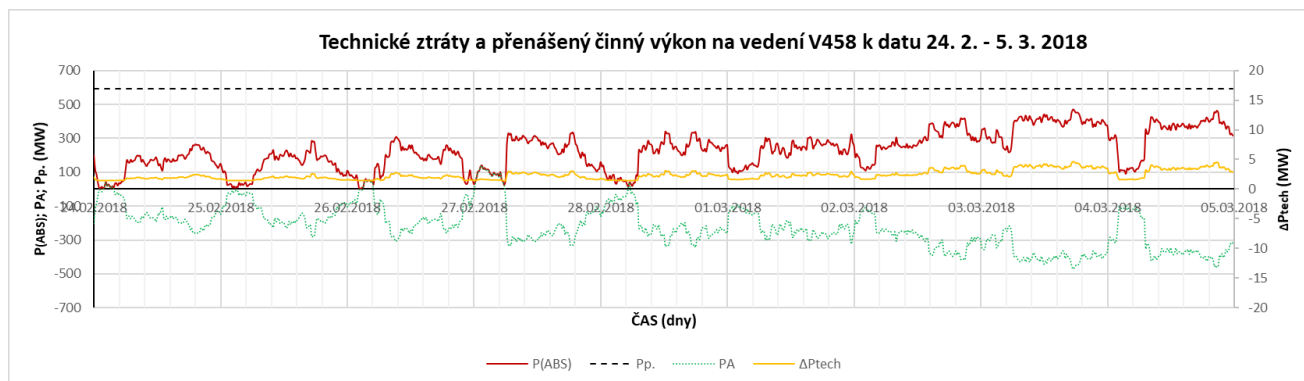
Graf. 23: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 24: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 25: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.



Graf. 26: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.

5.1.5.1 Vyhodnocení vedení V458:

Vedení V458 je provozováno na napěťové hladině 400 kV a je to vedení zcela nové. Uvedení do provozu proběhlo 27. 9. 2016 a slouží k propojení rozvodny Krasíkov s rozvodnou Horní Životice, která byla doposud připojena pouze z jedné strany a to z rozvodny Kletné. Zvýšila se tím bezpečnost a spolehlivost dodávky elektrické energie a celková schopnost regulace daného okruhu.

Z poskytnutých dat jsem zjistil, že vedení V458 bylo v měsíci srpen a září vypnuto a u ostatních měsíců v provozu. Na základě toho, mohu porovnat přenášený výkon a technické ztráty z doby před uvedením a po uvedení tohoto vedení do provozu.

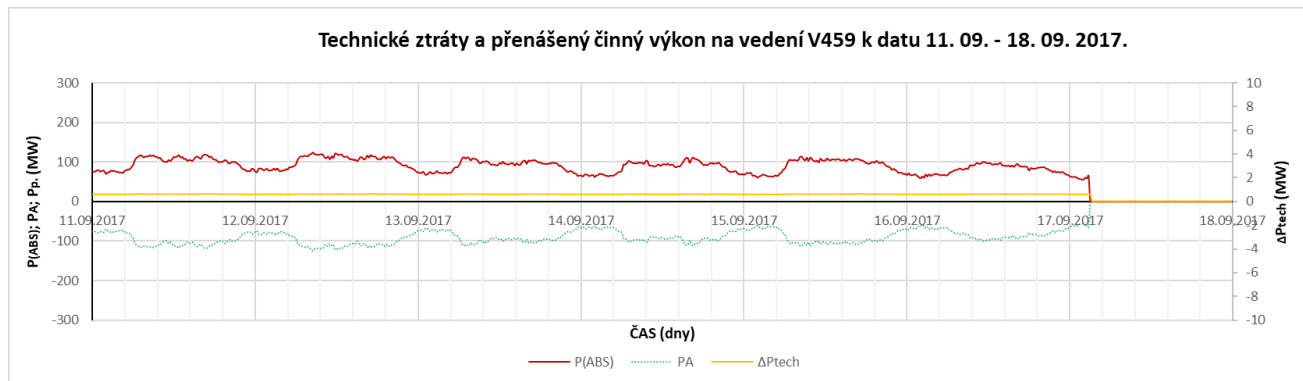
Skutečný přenášený výkon je téměř po celou dobu u všech týdnů v záporných hodnotách, to znamená, že směr toku výkonu je z rozvodny Krasíkov do Horních Životic. Můžeme tedy očekávat, že u vedení V459, které spojuje rozvodnu Horní Životice s rozvodnou Kletné se po připojení V458 změní směr toku výkonu, tak jak tomu bylo u vedení V405.

Z absolutní hodnoty přenášeného výkonu jde vidět, že téměř celý vybraný týden v říjnu je provozován nad přirozeným výkonem, který činí 592 MW. V ostatních měsících je pak vedení provozováno pod tímto přirozeným výkonem.

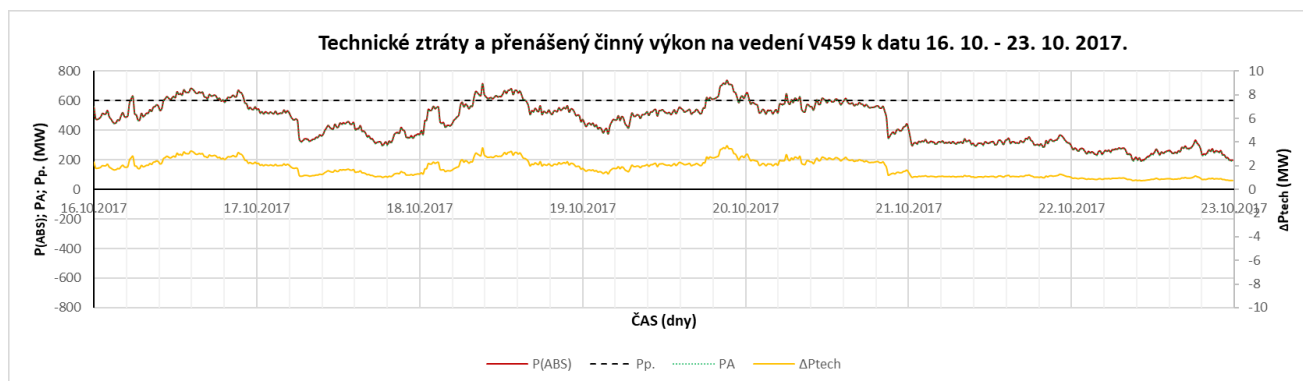
Nejvíce bylo toto vedení zatěžováno v říjnu, kdy se přenášený výkon pohyboval v rozmezí od -272 MW do -858 MW. V dalších týdnech lze pozorovat, že se přenášený výkon zmenšuje. V listopadu se hodnoty přenášeného výkonu pohybují od 161 MW do -538 MW, kdežto v únoru, který byl nejméně zatížen, je tento výkon v rozmezí jen od 139 MW do -473 MW. Z hodnot přenášeného výkonu lze vidět, že toto vedení je ze všech vedení nejvíce zatěžováno.

Co se týče technických ztrát na tomto vedení, ty byly největší v říjnu, kdy se pohybovaly v rozmezí od 2,54 MW do 12,18 MW, při přenášeném výkonu od -275 MW do -850 MW. Podíl Jouleových ztrát se pohyboval okolo 88 % z celkových technických ztrát, při teplotě okolního vzduchu 10 °C. Nejmenší technické ztráty byly v únoru, kdy se pohybovaly okolo hodnot od 1,44 MW do 4,67 MW při výkonu od 37 MW do 469 MW. Velmi podobně na tom byly i ostatní měsíce, kdy se ztráty pohybovaly jen o pár desetin výše. Teplota tohoto vedení se v únoru pohybovala okolo -15 °C a podíl Jouleových ztrát zde klesl na 69 % z technických ztrát.

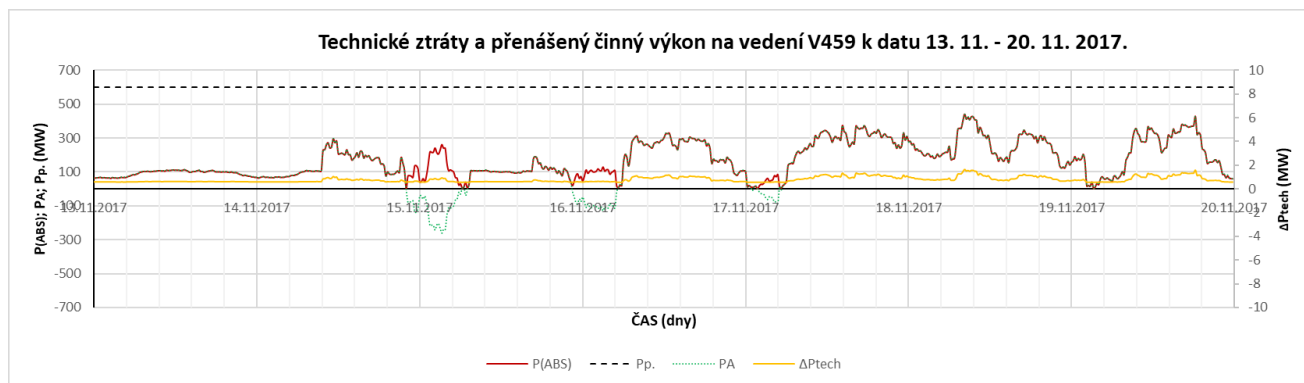
5.1.6 Technické ztráty na vedení V459 (Horní Životice - Kletné)



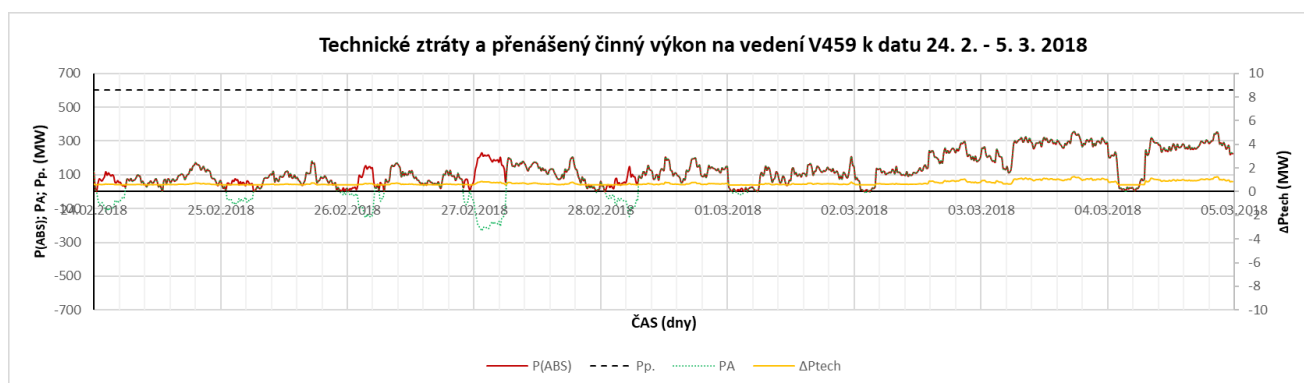
Graf. 27: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.



Graf. 28: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.



Graf. 29: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 13. 11. - 20. 11. 2017.



Graf. 30: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 24. 2. - 5. 3. 2018.

5.1.6.1 Vyhodnocení vedení V459:

Vedení V459 spojuje rozvodnu Kletné s rozvodnou Horní Životice. Toto vedení a vedení V405 tvořily do doby, než bylo připojeno vedení V458 tzv. paprskovou síť. Z toho důvodu je ve vybraném týdnu v září (graf. 27) vidět, že skutečný přenášený výkon je v záporných hodnotách a směr jeho toku je tedy z rozvodny Kletné do rozvodny Horní Životice. V dalším měsíci, bylo vedení V458 již připojeno a směr toku výkonu se otočil (graf. 28). U ostatních měsíců se tento směr již mění minimálně, a zůstává po většinu doby v kladných hodnotách. To znamená, že teče z rozvodny Horní Životice do rozvodny Kletné.

Z absolutní hodnoty přenášeného výkonu lze vidět, že se nad hodnotu přirozeného výkonu, který činí 600 MW, dostalo toto vedení pouze v říjnu, právě po připojení nového vedení V458.

Říjen byl tedy měsíc, ve kterém dosáhl maximální přenášený výkon největší hodnoty, která činila 736 MW. Tento měsíc byl v porovnání s ostatními nejvíce zatěžován a nejmenší hodnota tohoto výkonu byla 192 MW. Nejméně zatížený týden byl v září, kdy ještě nebylo vedení V458 připojeno. Přenášený výkon se v tomto týdnu pohyboval v rozmezí od -55 MW do -125 MW. Po připojení vedení V458 byl nejméně zatěžován jeden týden v únoru, kdy se výkon pohyboval od -231 MW do 358 MW.

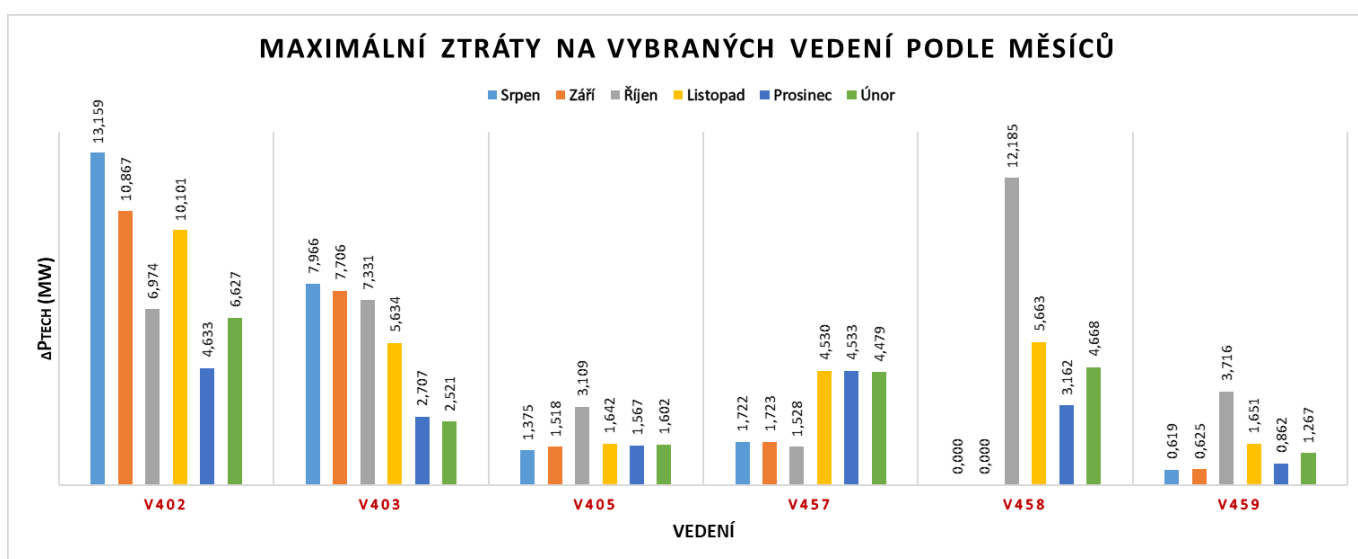
Co se týče technických ztrát na tomto vedení, ty byly největší v říjnu, kdy se pohybovaly v rozmezí od 0,76 MW do 3,72 MW, při přenášeném výkonu od 190 MW do 738 MW. Podíl Jouleových ztrát se pohyboval okolo 85 % z celkových technických ztrát, při teplotě okolního vzduchu 10 °C.

Nejmenší technické ztráty byly v září, kde se pohybovaly okolo hodnot od 0,58 MW do 0,63 MW při výkonu od -71 MW do -116 MW. Teplota tohoto vedení se v září pohybovala okolo 16 °C a podíl Jouleových ztrát zde klesl na 12 % z technických ztrát.

5.2 Vzájemné zhodnocení vybrané oblasti vedení

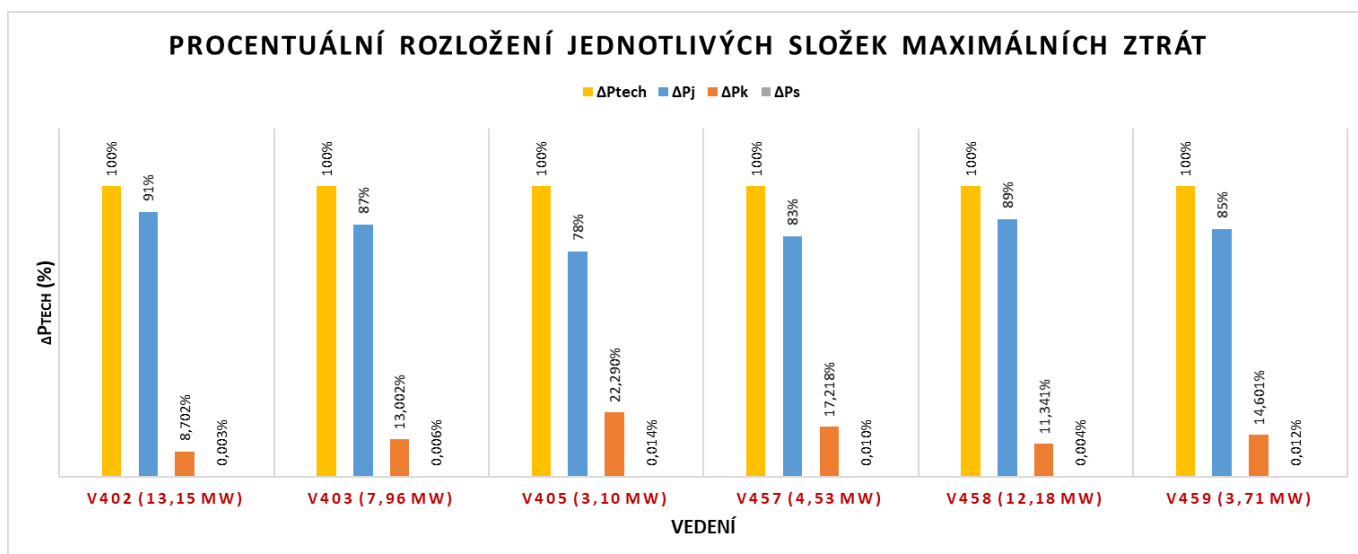
Pro lepší přehled ztrát na vybraných vedení jsem vytvořil následující graf (graf. 31), ze kterého je zřejmé, že největší dlouhodobé ztráty byly na vedení V402, které spojuje rozvodny Krasíkov a Prosenice. Tyto ztráty jsou dány především tím, že toto vedení přenáší po většinu doby mnohem větší výkon než ostatní vedení. Jako nejméně ztrátové vedení se jeví V459, které spojuje rozvodnu Krasíkov s přečerpávací vodní elektrárnou Dlouhé stráně.

Nové vedení V458 je v prvních dvou měsících vypnuto, ale jakmile došlo k zapnutí, tak se ztráty v Říjnu vyšplhaly téměř na úroveň ztrát vedení V402. Tyto ztráty nebyly ale dlouhodobé a další měsíce se snížili na únosnou úroveň. Dále lze pozorovat, že po připojení tohoto vedení se mírně zvýšili ztráty na vedení V405 a V459, které pře připojením V458 přenášely výkon směrem k Horním Živicím a poté opačným směrem k Nošovicím. Naopak u vedení V402 a V403 je evidentní pokles ztrát, který je dán zmenšením přenášeného výkonu směrem k Nošovicím.



Graf. 31: Maximální ztráty na vybraných vedení PS podle měsíců.

V dalším grafu (graf. 32) jde vidět, že se technické ztráty skládají převážně z Jouleových ztrát, které se pohybují okolo 80 – 90 % celkových ztrát. Ty budou analyzovány v další kapitole.



Graf. 32: Procentuální rozložení jednotlivých složek maximálních technických ztrát na vybraných vedení PS.

6 Analýza Jouleových ztrát softwarem – Optimalizace provozu vedení PS

Jako druhý software pro analýzu databází jsem zvolil program „Optimalizace provozu vedení PS“, vytvořený v programu Microsoft Excel. Tento program vyhodnocuje predikci Jouleovy ztráty na vedení na základě přenášeného výkonu a teploty okolí vedení PS. Navíc lze v tomto programu vytvářet modely stavů Jouleových ztrát na základě přenášeného výkonu a tím optimalizovat provoz daného vedení.

Vstupní data

Abych mohl v tomto softwaru provádět výpočty, tak jsem nejprve musel doplnit vnitřní databázi přímo v tomto programu. Samotná databáze se skládá z času měření, přenášeného výkonu měřeného na začátku a konci vedení, ztrát a teploty v každé rozvodně, za všechny měsíce.

Tab. 12: Vstupní databáze pro SW - Optimalizace provozu vedení PS.

Cas	C:NOS:4: V403:P	C:PRN:4: V403:P	C:V403:P _ztr	C:KRA:4:V 402:P	C:PRN:4: V402:P	C:V402:P _ztr	C:NOS:4: V405:P	C:KLT:4:V 405:P	C:V405:P _ztr
13.8.2017 24:00:00 L	79,4477	-79,542	0,006049	-288,58	289,537	0,955544	-194,513	200,332	0,296414
14.8.2017 00:15:00 L	111,613	-114,417	0,307979	-342,24	341,275	2,1427	-191,52	198,297	0,298726
14.8.2017 00:30:00 L	129,989	-126,42	0,156141	-350,58	345,904	1,69046	-199,5	204,686	0,304542
14.8.2017 00:45:00 L	135,515	-140,878	0,288771	-339,24	345,261	1,75562	-202,493	207,001	0,302956
14.8.2017 01:00:00 L	171,26	-175,123	0,214693	-311,17	319,506	1,58514	-194,513	204,621	0,298312
14.8.2017 01:15:00 L	171,819	-171,305	0,316032	-295,96	293,559	1,21233	-194,513	196,814	0,295852

Dále jsem musel v Seznamu vedení doplnit tabulky s názvy DATA a poslední políčko označit slovem ano. To aby si podle toho program sám vyhledal příslušné data, z vnitřní databáze.

Tab. 13: Nastavení SW – Optimalizace provozu vedení PS pro vyhledání příslušných dat ze vstupní databáze.

Číslo	Rozvodna A	Rozvodna B	Imax	Délka	NAPETÍ	Výkon	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA
V270	LÍSKOVEC	POV.BYSTRICA	580	95,107	220	221,0097						ne
V280	SOKOLNICE	SENICA	560	93,33	220	213,3887						ne
V400	ČECHY STŘED	TÝNEC N/L	1740	46,221	400	1205,507						ne
V401	TÝNEC N/L	KRAŠÍKOV	1740	103,816	400	1205,507						ne
V402	KRAŠÍKOV	PROSEVICE	1740	87,571	400	1205,507	C:PRN:4:V 402:P	C:KRA:4:V 402:P	C:V402:P _ztr	C:PRN:T _venk	C:KRA:T_v enk	ano
V403	PROSEVICE	NOŠOVICE	1740	79,416	400	1205,507	C:NOS:4: V403:P	C:PRN:4:V 403:P	C:V403:P _ztr	C:PRN:T _venk	C:NOS:1:T _venk	ano
V404	NOŠOVICE	VARIN	1740	75,096	400	1205,507						ne
V405	KLETNÉ	NOŠOVICE	1968	53,45	400	1363,47	C:NOS:4: V405:P	C:KLT:4:V 405:P	C:V405:P _ztr	C:NOS:1:T _venk	C:KLT:T_v enk	ano
V410	VÝŠKOV	ČECHY STŘED	1740	97,104	400	1205,507						ne

Práce se softwarem

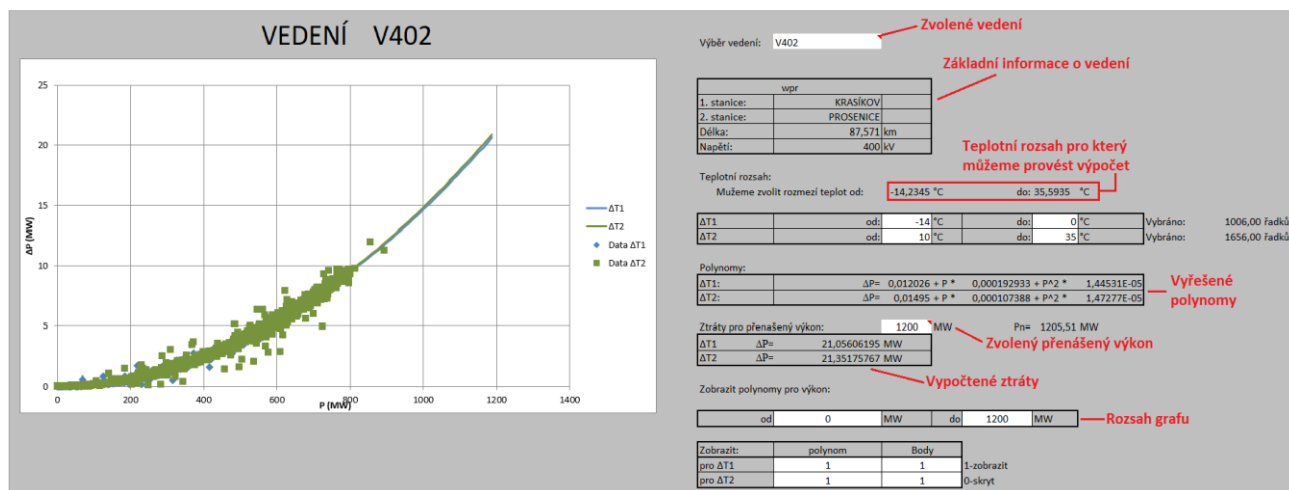
V pracovním okně programu si nejprve zvolíme vedení, pro které chceme provést výpočet. Po zvolení vedení se nám v poli níže zobrazí názvy rozvodn, které toto vedení spojuje, délka vedení a hladina napětí.

Dále se nám zobrazí rozsah dvou teplot, ve kterém se při výpočtu můžeme pohybovat. Samotný výpočet se provede pro dva polynomy, které budou mít každý jiný teplotní rozsah. Pro první polynom volíme rozsah nejnižších teplot a pro druhý polynom rozsah teplot nejvyšších. Kromě toho, že si zvolíme rozsahy pro nejnižší a nejvyšší teploty, si musíme ještě pohlídat, aby pro oba tyto rozsahy bylo dost dat

v databázi a aby nebyly výsledné ztráty zkresleny nesprávným proložením polynomu. To si můžeme zkontrolovat napravo od zvolených rozsahů, kde se nám zobrazí, kolik řádků z databáze je zvoleno.

Po zvolení dvou teplotních rozsahů se nám v dalším poli zobrazí dva polynomy. Pomocí těchto polynomů jsou následně vypočteny ztráty a je vykreslen graf, který vykreslí tyto ztráty v závislosti na přenášeném výkonu. Aby se nám v grafu vykreslila celá křivka, tak si ještě můžeme upravit rozsah výkonu, který bude zobrazován.

Nakonec si pro zobrazení konkrétních ztrát musíme zvolit, pro jaký přenášený výkon je chceme vypočítat. Přenášený výkon, pro který je chceme vypočítat, si můžeme zvolit libovolně v rozsahu hodnot od 0 do maximální hodnoty přenášeného výkonu po tomto vedení.



Obr. 13: Nastavení výpočtu v SW - Optimalizace provozu vedení PS pro zvolené vedení V402.

6.1 Modelové stavy Jouleových ztrát na vybraném vedení PS

Na základě zvolených teplotních rozsahů a zvolených hodnotách přenášeného výkonu budu v následující části pomoci softwaru „Optimalizace provozu vedení PS“ a softwaru „Microsoft Excelu“ vytvářet modelové stavy Jouleových ztrát.

Teploty zvolím tak aby jeden polynom reprezentoval ztráty při nízkých a druhý při vysokých teplotách. Hladiny přenášeného výkonu budu volit od 0 MW po 100 MW až k maximální hodnotě přenášeného výkonu. Pro každou zvolenou hodnotu přenášeného výkonu budu ukládat výsledné ztráty do tabulky, kde je porovnám s vypočtenými Joulovými ztráty pomocí vztahu, který využívá i software „Ztráty na vedení“.

Ukázka výpočtu Jouleových ztrát na vedení V402 při přenášeném výkonu 500 MW (tab. 14):

Pro výpočet Jouleových ztrát budu uvažovat účinník $\cos(\varphi) = 0,95$, hladinu napětí 400 kV a parametry jednotlivých vedení, které jsou v kapitole 3 v tabulce (tab. 6).

Nejprve budu muset spočítat proud a z něj jalový výkon, pro každou zvolenou hladinu přenášeného výkonu:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} = \frac{500 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0,95} \doteq 760 \text{ A}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi) = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 760 \cdot \sin(\arccos(0,95)) \cdot 10^{-3} \doteq 164 \text{ Mvar}$$

Když už znám všechny parametry, tak můžu přejít k samotnému výpočtu Jouleových ztrát pro zvolenou hladinu přenášeného činného výkonu daného vedení:

$$\Delta P_j = R \cdot \frac{P^2 + \left(Q + \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{U^2} = 2,57 \cdot \frac{500^2 + \left(164 + \frac{400^2 \cdot 354}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}{400^2} \doteq 4,029 \text{ MW}$$

6.1.1 Vedení V402 (Krasíkov – Prosenice)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -14 °C až 0 °C

ΔT_2 : 10 °C až 35 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

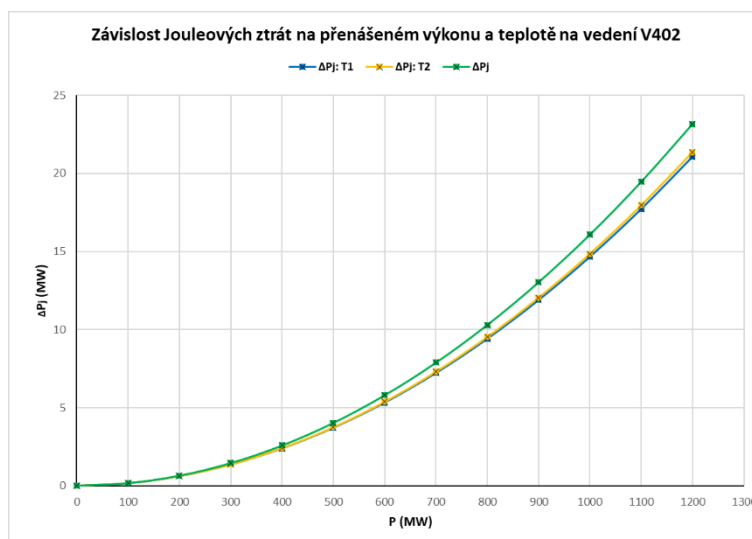
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,01203 + P \cdot 0,00019 + P^2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = 0,01495 + P \cdot 0,00011 + P^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V402:

Tab. 14: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V402.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst ztrát
P	ΔP_j : T1	ΔP_j : T2	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j$: T1	$\Delta P_j - \Delta P_j$: T2	ΔP_j : T2 - ΔP_j : T1	(%)
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	
0	0,012	0,015	0	0	0,013	0,001	-0,002	0,003	0
100	0,176	0,173	152	33	0,174	-0,002	0,001	-0,003	7
200	0,629	0,626	304	66	0,655	0,027	0,030	-0,003	26
300	1,371	1,373	456	99	1,459	0,088	0,086	0,002	45
400	2,402	2,414	608	131	2,583	0,181	0,169	0,013	56
500	3,722	3,751	760	164	4,029	0,307	0,278	0,029	64
600	5,331	5,381	912	197	5,795	0,464	0,414	0,050	70
700	7,229	7,307	1064	230	7,884	0,654	0,577	0,078	74
800	9,416	9,527	1215	263	10,293	0,877	0,766	0,110	77
900	11,893	12,041	1367	296	13,024	1,131	0,982	0,148	79
1000	14,658	14,850	1519	329	16,075	1,417	1,225	0,192	81
1100	17,713	17,954	1671	362	19,449	1,736	1,495	0,241	83
1200	21,056	21,352	1823	394	23,143	2,087	1,791	0,296	84



Graf. 33: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V402.

6.1.1.1 Vyhodnocení vedení V402:

V tabulce (tab. 14) a grafu (graf. 33) jdou vidět Jouleovy ztráty (ΔP_j) vypočtené pouze v závislosti na zvoleném přenášeném výkonu a predikované Jouleovy ztráty ($\Delta P_j:T_1$ a $\Delta P_j:T_2$) pro dva různé teplotní rozsahy a zvolený přenášený výkon.

Z vypočtených hodnot v tabulce je patrné, že ztráty predikované softwarem „Optimalizace provozu vedení PS“ jsou menší, než vypočtené ztráty v závislosti pouze na velikosti přenášeného výkonu. Rozdíl těchto ztrát ($\Delta P_j - \Delta P_j:T_1$ a $\Delta P_j - \Delta P_j:T_2$) roste. Při přenášeném výkonu 100 MW je rozdíl minimální, zatímco u přenášeného výkonu 1200 MW rozdíl vzrostl až na 2,087 MW u nízké teploty a 1,791 MW u vysoké teploty.

Když porovnáme predikované ztráty při nízké a vysoké teplotě a stejné hodnotě přenášeného výkonu ($\Delta P_j:T_2 - \Delta P_j:T_1$), tak můžeme pozorovat, že ztráty při nízké teplotě jsou o trochu menší než ztráty při teplotě vysoké. Při přenášeném výkonu 1200 MW jsou ztráty při nízké teplotě 21,056 MW, kdežto při vysoké teplotě jsou 21,352 MW. Rozdíl těchto ztrát taktéž roste s výkonem a činí maximálně 0,296 MW.

Dále jsem v tabulce uvedl nárůst Jouleových ztrát oproti své předchozí hodnotě. Z procentuálních hodnot jsem vyčetl, že z počátku je nárůst vysoký a se zvyšujícím výkonem roste. Při maximální hodnotě výkonu je už 84% nárůst.

6.1.2 Vedení V403 (Prosenice – Nošovice)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -10 °C až -5 °C

ΔT_2 : 10 °C až 19 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

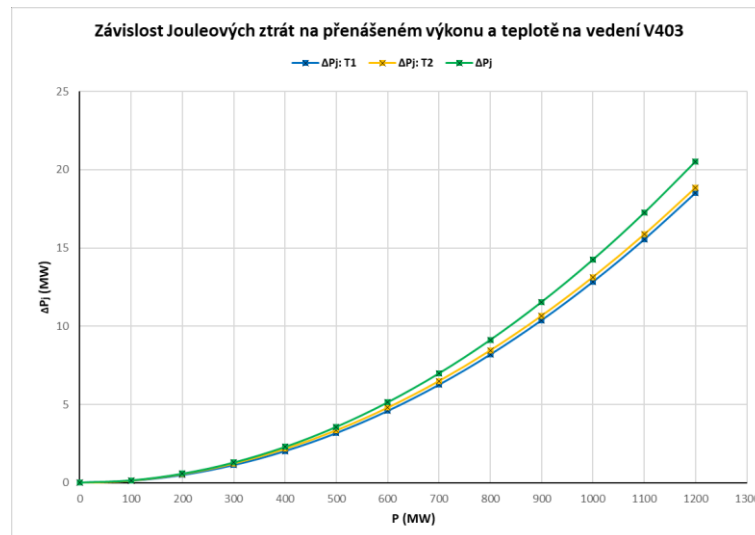
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,01604 + P \cdot -0,0002 + P^2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = -0,0327 + P \cdot 0,00037 + P^2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-5}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V403:

Tab. 15: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V403.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst
P	$\Delta P_j:T_1$	$\Delta P_j:T_2$	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j:T_1$	$\Delta P_j - \Delta P_j:T_2$	$\Delta P_j:T_2 - \Delta P_j:T_1$	ztrát
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(%)
0	0,016	-0,033	0	0	0,007	-0,009	0,040	-0,049	0
100	0,130	0,132	152	33	0,150	0,020	0,018	0,002	5
200	0,503	0,553	304	66	0,577	0,074	0,025	0,050	26
300	1,135	1,229	456	99	1,290	0,155	0,060	0,094	45
400	2,027	2,162	608	131	2,287	0,260	0,125	0,135	56
500	3,178	3,351	760	164	3,570	0,392	0,218	0,173	64
600	4,588	4,796	912	197	5,137	0,549	0,341	0,208	69
700	6,258	6,497	1064	230	6,990	0,731	0,492	0,239	73
800	8,187	8,455	1215	263	9,127	0,940	0,672	0,267	77
900	10,376	10,668	1367	296	11,550	1,174	0,882	0,292	79
1000	12,824	13,137	1519	329	14,257	1,433	1,120	0,314	81
1100	15,531	15,863	1671	362	17,250	1,718	1,387	0,332	83
1200	18,498	18,845	1823	394	20,527	2,029	1,683	0,347	84



Graf. 34: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V403.

6.1.2.1 Vyhodnocení vedení V403:

Vedení V403 se jeví podobně jako V402. Opět jsou predikované ztráty softwarem „Optimalizace provozu vedení PS“, menší, než ztráty vypočtené v závislosti pouze na velikosti přenášeného výkonu. Rozdíl ($\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$ a $\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$) taktéž roste. Při výkonu 1200 MW činí 2,029 MW u nízkých teplot a 1,683 MW u teplot vysokých.

Když porovnáme predikované ztráty při nízké a vysoké teplotě a stejné hodnotě přenášeného výkonu ($\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$) tak můžeme pozorovat, že ztráty při nízké teplotě jsou o trochu menší než ztráty při teplotě vysoké. Při přenášeném výkonu 1200 MW jsou ztráty při nízké teplotě 18,498 MW, kdežto při vysoké teplotě jsou 18,845 MW. Rozdíl těchto ztrát taktéž roste s výkonem, činí maximálně 0,347 MW.

Co se týče procentního nárůstu Jouleových ztrát oproti předchozí hodnotě, tak opět s výkonem nárůst roste, při maximální hodnotě přenášeného výkonu je 84% nárůst a je tedy shodný s vedením V402.

6.1.3 Vedení V405 (Nošovice – Kletné)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -15 °C až 0 °C

ΔT_2 : 14 °C až 23 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

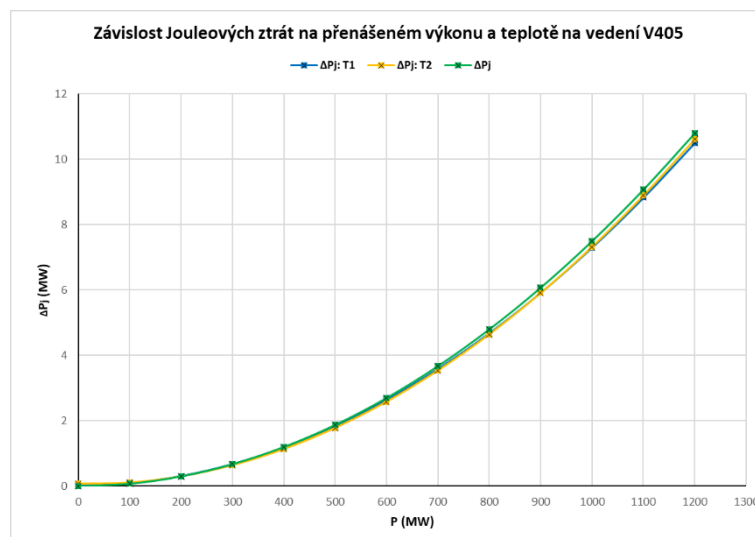
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,0075 + P \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} + P^2 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = 0,07143 + P \cdot -0,0004 + P^2 \cdot 7,7 \cdot 10^{-6}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V405:

Tab. 16: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V405.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst ztrát
P	$\Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j: T_2$	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$	$\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$	
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(%)
0	0,008	0,071	0	0	0,002	-0,005	-0,069	0,064	0
100	0,081	0,106	152	33	0,077	-0,004	-0,029	0,025	3
200	0,301	0,294	304	66	0,302	0,001	0,008	-0,007	26
300	0,666	0,635	456	99	0,677	0,011	0,042	-0,031	45
400	1,177	1,130	608	131	1,202	0,025	0,072	-0,047	56
500	1,834	1,779	760	164	1,877	0,043	0,098	-0,055	64
600	2,636	2,581	912	197	2,702	0,066	0,121	-0,055	69
700	3,584	3,536	1064	230	3,677	0,093	0,141	-0,048	73
800	4,677	4,645	1215	263	4,802	0,125	0,157	-0,033	77
900	5,917	5,907	1367	296	6,077	0,160	0,170	-0,009	79
1000	7,302	7,323	1519	329	7,502	0,201	0,179	0,021	81
1100	8,832	8,892	1671	362	9,077	0,245	0,185	0,060	83
1200	10,508	10,615	1823	394	10,802	0,294	0,187	0,107	84
1300	12,330	12,491	1975	427	12,677	0,347	0,186	0,161	85



Graf. 35: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V405.

6.1.3.1 Vyhodnocení vedení V405:

Z vypočtených hodnot v tabulce, je patrné, že ztráty predikované softwarem „Optimalizace provozu vedení PS“ jsou jen o trochu menší, než vypočtené ztráty v závislosti pouze na velikosti přenášeného výkonu. Rozdíl těchto ztrát ($\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$ a $\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$) roste jen minimálně. Při přenášeném výkonu 1200 MW činí pouze 0,347 MW u nižších teplot a 0,186 MW u teplot vysokých. Protože je predikce téměř shodná s výpočtem, tak se jeví jako velmi přesná.

Když porovnáme predikované ztráty při nízké a vysoké teplotě a stejné hodnotě přenášeného výkonu ($\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$), tak můžeme pozorovat, že ztráty při nízké teplotě jsou o trochu menší než ztráty při teplotě vysoké. Při přenášeném výkonu 1200 MW jsou ztráty při nízké teplotě 12,330 MW, kdežto při vysoké teplotě jsou 12,491 MW. Rozdíl těchto ztrát taktéž roste s výkonem a činí maximálně 0,161 MW, což je velmi malý rozdíl.

Co se týče procentního nárůstu Jouleových ztrát oproti předchozí hodnotě, tak opět s výkonem nárůst roste, při maximální hodnotě přenášeného výkonu je 85% nárůst. Tento nárůst je tedy větší než u předchozích dvou vedení.

6.1.4 Vedení V457 (Dlouhé Stráně – Krasíkov)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -12 °C až 0 °C

ΔT_2 : 15 °C až 28 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

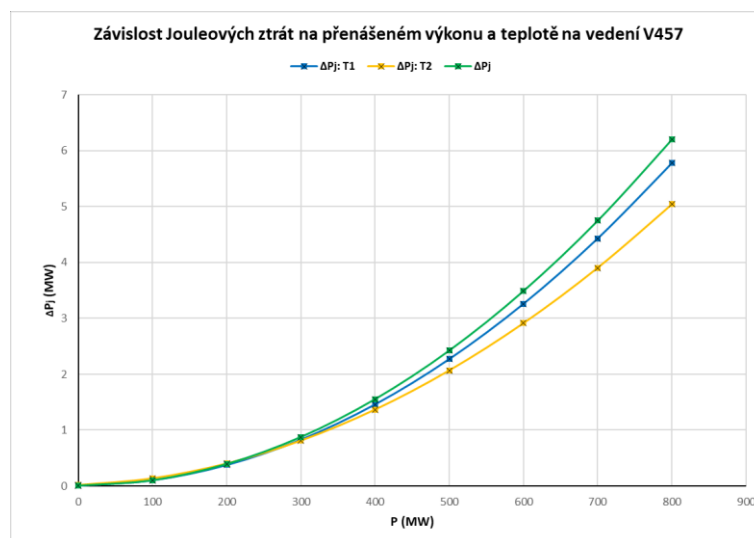
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,00762 + P \cdot 5,6 \cdot 10^{-5} + P^2 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = 0,01599 + P \cdot 0,00047 + P^2 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V457:

Tab. 17: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V457.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst ztrát
P	ΔP_j : T1	ΔP_j : T2	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j$:T1	$\Delta P_j - \Delta P_j$:T2	ΔP_j :T2 - ΔP_j :T1	(%)
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	
0	0,008	0,016	0	0	0,003	-0,004	-0,013	0,008	0
100	0,103	0,136	152	33	0,100	-0,003	-0,036	0,033	3
200	0,377	0,401	304	66	0,391	0,014	-0,010	0,024	26
300	0,830	0,811	456	99	0,875	0,046	0,064	-0,018	45
400	1,461	1,367	608	131	1,553	0,092	0,186	-0,094	56
500	2,272	2,068	760	164	2,425	0,153	0,358	-0,204	64
600	3,262	2,913	912	197	3,491	0,229	0,577	-0,348	69
700	4,430	3,904	1064	230	4,750	0,320	0,846	-0,526	73
800	5,777	5,041	1215	263	6,203	0,426	1,163	-0,737	77



Graf. 36: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V457.

6.1.4.1 Vyhodnocení vedení V457:

Při predikci ztrát v softwaru „Optimalizace provozu vedení PS“ jsem zjistil, že pro vykreslení predikční křivky a tedy i pro výpočet ztrát u vysokých teplot nebylo dostatek řádků, ze kterých se provedl výpočet. Důvodem je, že přenášený výkon z databázi se pohyboval po většinu času do 300 MW a maxima cca 600 MW dosahoval pouze zřídka. Proto je predikce při vyšších teplotách přesná pouze do 300 MW a při nárůstu přenášeného výkonu se zkresluje.

Zatímco jsou ztráty při vysokých teplotách zkresleny, tak při nízkých jsou přené, protože v tomto období byly maximální hodnoty přenášeného výkonu mnohem častější a proto bylo i dostatek řádků pro výpočet. Protože je toto vedení připojeno k přečerpávací vodní elektrárně Dlouhé stráně, která má instalovaný výkon 600 MW, budu hodnotit ztráty při tomto výkonu. Ztráty při nízkých teplotách u výkonu 600 MW jsou 3,262 MW a rozdíl mezi vypočtenými a predikovanými činí 0,426 MW.

Co se týče procentního nárůstu Jouleových ztrát oproti předchozí hodnotě, tak opět s výkonem nárůst roste, při maximální hodnotě přenášeného výkonu je 77% nárůst. Při zvoleném přenášeného výkonu 600 MW je nárůst 69%.

6.1.5 Vedení V458 (Krasíkov – Horní Životice)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -15 °C až 0 °C

ΔT_2 : 14 °C až 23 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

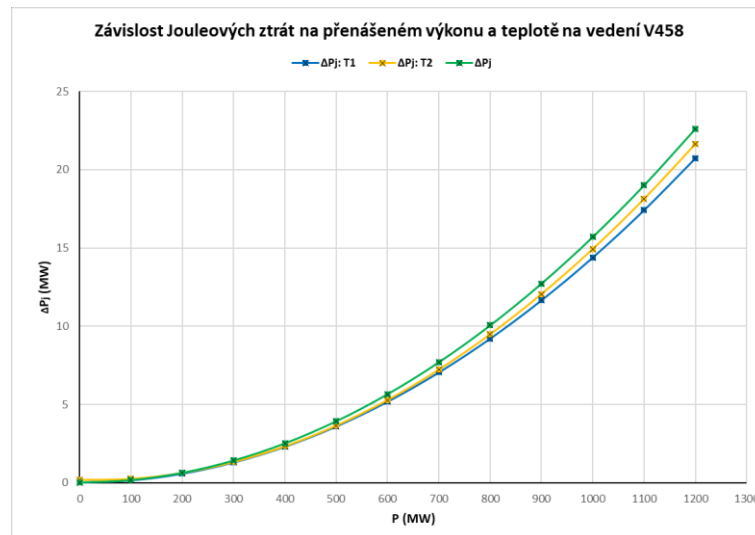
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,01769 + P \cdot -4 \cdot 10^{-5} + P^2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = 0,19254 + P \cdot -0,0009 + P^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V458:

Tab. 18: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V458.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst
P	$\Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j: T_2$	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$	$\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$	ztrát
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(%)
0	0,018	0,193	0	0	0,018	0,001	-0,174	0,175	0
100	0,158	0,262	152	33	0,175	0,018	-0,087	0,104	11
200	0,586	0,643	304	66	0,646	0,060	0,003	0,058	27
300	1,302	1,337	456	99	1,430	0,128	0,093	0,035	45
400	2,307	2,343	608	131	2,528	0,221	0,186	0,035	57
500	3,601	3,660	760	164	3,940	0,340	0,280	0,060	64
600	5,182	5,290	912	197	5,666	0,484	0,376	0,108	70
700	7,052	7,232	1064	230	7,705	0,653	0,473	0,180	74
800	9,210	9,486	1215	263	10,058	0,848	0,572	0,276	77
900	11,657	12,052	1367	296	12,725	1,069	0,673	0,395	79
1000	14,392	14,930	1519	329	15,706	1,314	0,776	0,539	81
1100	17,415	18,121	1671	362	19,000	1,585	0,880	0,706	83
1200	20,727	21,623	1823	394	22,608	1,882	0,985	0,897	84
1300	24,326	25,437	1975	427	26,530	2,204	1,093	1,111	85



Graf. 37: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V458.

6.1.5.1 Vyhodnocení vedení V458:

U nového vedení V458 je patrné, že predikované ztráty softwarem „Optimalizace provozu vedení PS“ jsou opět menší než ztráty vypočtené v závislosti pouze na velikosti přenášeného výkonu. Rozdíl ($\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$ a $\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$) taktéž roste. Při výkonu 1300 MW činí 2,204 MW u nízkých teplot a 1,093 MW u teplot vysokých.

Když porovnáme predikované ztráty při nízké a vysoké teplotě a stejné hodnotě přenášeného výkonu ($\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$), tak můžeme pozorovat, že ztráty při nízké teplotě jsou o hodně menší než ztráty při teplotě vysoké. Při přenášeném výkonu 1300 MW jsou ztráty při nízké teplotě 24,326 MW, kdežto při vysoké teplotě jsou 25,437 MW. Rozdíl těchto ztrát taktéž roste s výkonem a činí maximálně 1,111 MW. Dále si lze všimnout, že rozdíl těchto ztrát je nepatrný do 600 MW přenášeného výkonu, poté už rapidně roste.

Co se týče procentního nárůstu Jouleových ztrát oproti předchozí hodnotě, tak opět s výkonem nárůst roste, při maximální hodnotě přenášeného výkonu je 85%.

6.1.6 Vedení V459 (Horní Životice – Kletné)

Pro výpočet predikčních polynomů jsem zvolil tyto dva teplotní rozsahy:

ΔT_1 : -14 °C až 0 °C

ΔT_2 : 15 °C až 35 °C

Polynomy, které vytvořil software - Optimalizace provozu vedení PS:

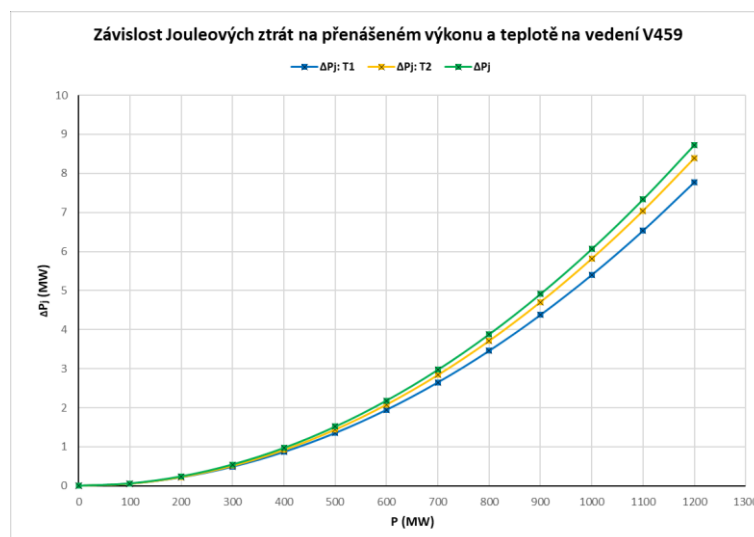
$$\Delta T_1 \rightarrow \Delta P_j = 0,00312 + P \cdot 1 \cdot 10^{-5} + P^2 \cdot 5,4 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta T_2 \rightarrow \Delta P_j = 0,00454 + P \cdot -6 \cdot 10^{-5} + P^2 \cdot 5,9 \cdot 10^{-6}$$

Výsledné Jouleovy ztráty na vedení V459:

Tab. 19: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V459.

Optimalizace provozu vedení PS			Vypočtené Jouleovy ztráty			Rozdíl ztrát			Nárůst ztrát
P	$\Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j: T_2$	I	Q	ΔP_j	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$	$\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$	$\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$	(%)
(MW)	(MW)	(MW)	(A)	(var)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	
0	0,003	0,005	0	0	0,001	-0,002	-0,003	0,001	0
100	0,058	0,057	152	33	0,062	0,004	0,005	-0,001	2
200	0,221	0,227	304	66	0,244	0,023	0,017	0,006	25
300	0,491	0,514	456	99	0,547	0,055	0,032	0,023	45
400	0,870	0,919	608	131	0,971	0,101	0,052	0,050	56
500	1,356	1,442	760	164	1,517	0,161	0,075	0,086	64
600	1,950	2,082	912	197	2,184	0,234	0,102	0,132	69
700	2,652	2,839	1064	230	2,972	0,320	0,133	0,187	73
800	3,461	3,714	1215	263	3,881	0,420	0,167	0,252	77
900	4,379	4,706	1367	296	4,912	0,533	0,206	0,327	79
1000	5,404	5,816	1519	329	6,064	0,660	0,248	0,412	81
1100	6,537	7,043	1671	362	7,337	0,800	0,294	0,506	83
1200	7,778	8,388	1823	394	8,731	0,953	0,344	0,610	84
1300	9,127	9,850	1975	427	10,247	1,120	0,397	0,723	85



Graf. 38: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V459.

6.1.6.1 Vyhodnocení vedení V459:

Rozdíl predikovaných ztrát a ztrát vypočtených pouze s ohledem na přenášený výkon ($\Delta P_j - \Delta P_j: T_1$ a $\Delta P_j - \Delta P_j: T_2$) opět roste. Při výkonu 1300 MW činí 1,120 MW u nízkých teplot a 0,397 MW u teplot vysokých.

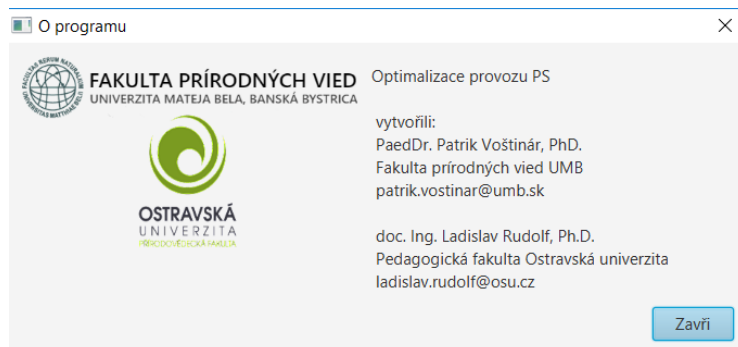
Když porovnáme predikované ztráty při nízké a vysoké teplotě a stejné hodnotě přenášeného výkonu ($\Delta P_j: T_2 - \Delta P_j: T_1$), tak můžeme pozorovat, že ztráty při nízké teplotě jsou menší než ztráty při teplotě vysoké. Při přenášeném výkonu 1300 MW jsou ztráty při nízké teplotě pouze 9,127 MW a při vysoké teplotě jsou 9,850 MW. Rozdíl těchto ztrát taktéž roste s výkonem, činí maximálně 1,120 MW.

Co se týče procentního nárůstu Jouleových ztrát oproti předchozí hodnotě, tak opět s výkonem nárůst roste. Při maximální hodnotě přenášeného výkonu je 85%.

6.2 Budoucí podoba nového SW

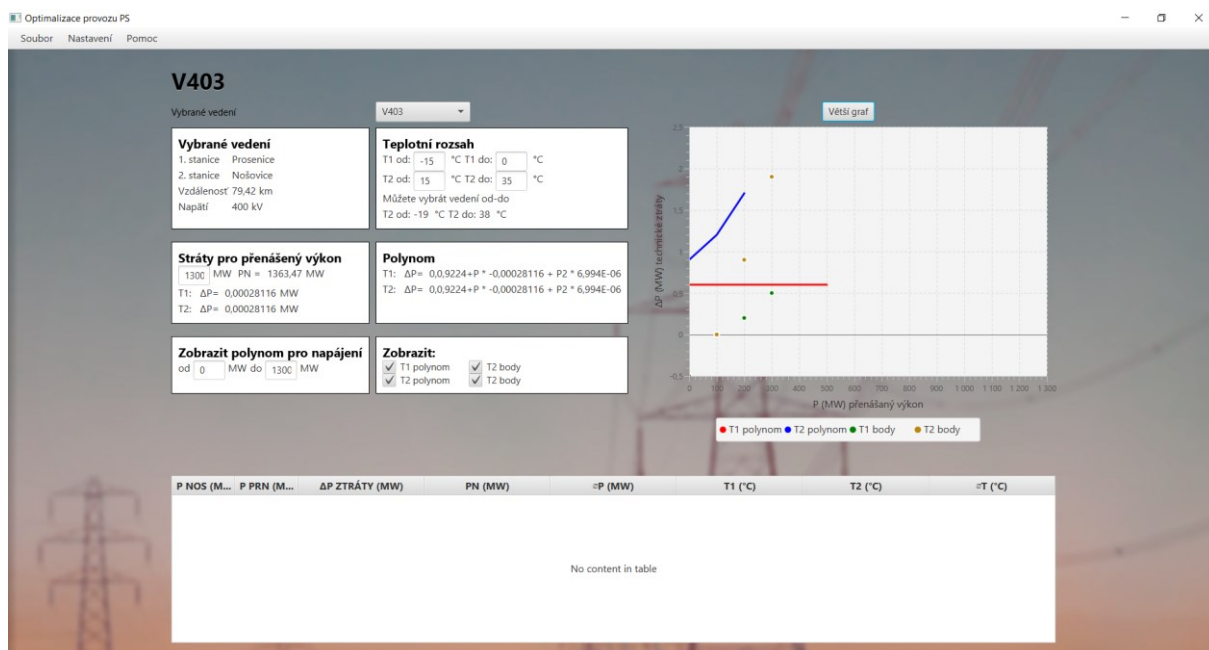
Program „Optimalizace provozu vedení PS“ byl vytvořen v tabulkovém souboru Microsoftu Excelu, a proto se již v době psaní této diplomové práce vytváří nový software, který již bude plně kompaktní. Poté jej bude možné nainstalovat v každém počítači, který má podporu ovladačů Javy. Tento nový software je tvořen na Univerzitě Mateja Bela v Banské Bystrici ve spolupráci s Ostravskou univerzitou.

Protože se tento program nestihl do mé diplomové práce zařadit, tak jsem dostal k dispozici alespoň demoverzi, která není plně funkční, ale pro ukázkou samotné podoby stačí.



Obr. 14: Tvorba programu – Optimalizace provozu PS.

V programu bude možné provádět stejné výpočty a vykreslení grafu jako v dosavadním, s tím rozdílem, že bude jednodušší nahrání a nastavení vstupních databází. Navíc bude program ve třech jazycích (Čeština, Slovenština, Angličtina).



Obr. 15: Ukázka demoverze nového softwaru - Optimalizace provozu PS.

Závěr

V diplomové práci jsem se seznámil s českou přenosovou soustavou a teorií technických ztrát na vedení VVN a ZVN. Pro praktickou část jsem se nejprve seznámil s možnostmi řešení technických ztrát v ČR i ve světě a vybral dva softwary, za pomoci kterých jsem následně provedl analýzu technických ztrát šesti vybraných vedení PS. Pro analýzu jsem měl k dispozici databáze měřených hodnot šesti vybraných vedení, měřených v letních a zimních měsících (2017/18).

Technické ztráty se skládají ze ztrát Jouleových, ztrát korunou a ztrát svodem. Největší podíl technických ztrát mají Jouleovy ztráty, které jsou závislé především na velikosti procházejícího proudu, a tedy na velikosti přenášeného výkonu. Kromě toho jsou závislé i na teplotě samotných vodičů, která se pro zjednodušení výpočtů rovná teplotě okolí vedení. Ztráty korunou jsou závislé především na meteorologických podmínkách a průřezu vodičů. Ztráty svodem jsou nejmenší ztráty, které jsou závislé na vodivosti izolátorů, mění se s vlhkostí a znečištěním povrchu izolátoru. Z těchto poznatků je patrné, že technické ztráty jsou nejvíce ovlivněny velikostí přenášeného výkonu a teplotou, při které je vedení provozováno. Proto jsem samotnou analýzu rozdělil na analýzu teploty okolního vzduchu, analýzu technických ztrát se závislostí na přenášeném výkonu a na analýzu technických ztrát s ohledem na teplotu okolí a velikost přenášeného výkonu.

Protože byly teploty naměřeny v jednotlivých rozvodnách a ne na vedeních, tak jsem je musel nejprve přepočítat tak, aby teploty jednotlivých vedení byly vždy průměrnou teplotou naměřenou ve dvou rozvodnách. Po přepočtu průměrných hodnot teplot jednotlivých vedení jsem vytvořil časové průběhy, které jsem vyhodnotil podle letního a zimního ročního období.

Z časových průběhů teplot jednotlivých vedení je zřejmé, že teplota se periodicky měnila v závislosti, zda byl den či noc. Dále jsem si všiml, že u vedení V405, spojující rozvodnu Nošovice a Kletné, je nejspíš špatné umístění čidla, protože největší teplota se zde pohybovala až okolo 46 °C. Stejný problém je nejspíš i u vedení V459, spojující rozvodnu Kletné s rozvodnou Horní Životice. Nejvyšší teploty byly v srpnu 2017, a to na již zmíněném vedení V405, na které zároveň působil největší teplotní rozdíl. Naopak nejmenší teploty byly naměřeny v únoru 2018, na novém vedení V458, kde byla naměřena teplota jen -16 °C. Protože po celý týden měření v únoru byla teplota pod nulou, tak se jedná o tzv. Arktický týden. V tomto týdnu by měly být technické ztráty ovlivněné teplotou nejmenší. Nejmenší teplotní rozdíl byl u vedení V457, proto by toto vedení mělo být nejstabilnější, co se týče technických ztrát ovlivněných změnou teplot.

Dalším úkolem bylo provést analýzu technických ztrát vypočtenou pouze v závislosti na přenášeném výkonu. Tyto ztráty jsem vypočetl pomocí softwaru „Ztráty na vedení“, který počítá jednotlivé složky technických ztrát. Předtím, než jsem mohl vypočítat ztráty, tak jsem musel upravit vstupní databáze, které obsahují měřená data. Pro vyhodnocení těchto ztrát jsem vytvořil v programu Microsoft Excel tabulky vypočtených hodnot a časové průběhy technických ztrát, skutečných hodnot přenášeného výkonu, absolutní hodnoty přenášeného výkonu a tabulkových hodnot přirozeného výkonu. Do diplomové práce jsem zařadil pouze měsíce září (2017), říjen (2017), listopad (2017) a únor (2018), které byly z hlediska změn nejzajímavější. Měsíce srpen (2017) a prosinec (2017) jsou

z hlediska ztrát a provozu vedení velmi podobné jako některé z předchozích měsíců, a proto byly vloženy pouze do příloh.

Z vyhodnocených dat jsem zjistil, že největší dlouhodobé technické ztráty byly u vedení V402, spojující rozvodnu Krasíkov s rozvodnou Prosenice. Největší technické ztráty u tohoto vedení byly v září, kde se pohybovaly na hodnotě 10,87 MW při přenášeném výkonu 800 MW, tekoucím do rozvodny Prosenice. Druhé největší dlouhodobé technické ztráty byly na vedení V403, spojující rozvodnu Prosenice s rozvodnou Nošovice. Ztráty zde dosahovaly hodnot 8 MW při přenášeném výkonu 600 MW, tekoucím do rozvodny Nošovice. Naopak nejmenší technické ztráty byly na vedení V459, spojující rozvodnu Kletné s rozvodnou Horní Životice. Technické ztráty se u tohoto vedení pohybovaly okolo 0,28 MW při přenášeném výkonu 116 MW, tekoucím do rozvodny Horní Životice.

Tato situace přenášeného výkonu a tím i technických ztrát se jasně změnila v říjnu, po připojení zcela nového vedení V458, spojujícího rozvodnu Krasíkov s rozvodnou Horní Životice, která tvořila před připojením tohoto vedení konec paprskové sítě, tvořenou rozvodnami Nošovice – Kletné – Horní Životice. (V405, V459). Na vedení V402 a V403 došlo k poklesu technických ztrát až na hodnotu 6 MW u V402 a na hodnotu 2,7 MW u V403. Připojením nového vedení se také změnil směr a velikost přenášeného výkonu u vedení V405 a V459 z rozvodny Horní Životice do rozvodny Nošovice. S nárůstem přenášeného výkonu, který činil až 738 MW, vzrostly i technické ztráty, a to až na hodnotu 3,72 MW. Z toho vyplývá, že se přenášený výkon z rozvodny Krasíkov rozdělil do dvou směrů, a to do směru po vedení V402 a do směru po novém vedení V458. Lze říct, že se i technické ztráty pouze rozdělily, ale když se podíváme do výsledků, tak je patrné, že se celková hodnota technických ztrát zmenšila.

Další vliv na technické ztráty způsoboval chod přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně. Z výsledků je patrné, že největší ztráty byly v nočních hodinách, kde docházelo k obrácení chodu elektrárny z generátorického režimu na režim motorický. Tento stav však probíhal jen pár hodin, a proto nebyly tyto velké ztráty dlouhodobé. Pokud se podíváme tedy na dlouhodobé ztráty, ty byly v průběhu celého dne, kdy elektrárna vyrábí a dodává výkon do sítě. Ztráty se zde pohybovaly před připojením vedení V458 okolo hodnot 1,72 MW při přenášeném výkonu 317 MW, což je polovina instalovaného výkonu. Po připojení vedení V458 začala elektrárna dodávat větší výkon a ztráty vzrostly na hodnotu 4,53 MW při přenášeném výkonu 623 MW.

Největší procento technických ztrát tvoří ztráty Jouleovy, proto bylo posledním bodem této práce vyhodnocení těchto ztrát s ohledem jak na velikost přenášeného výkonu, tak na teplotu. K tomuto vyhodnocení mi posloužil software „Optimalizace provozu vedení PS“, ve kterém jsem vytvořil několik modelových stavů pro každé z řešených vedení. Stejně jako u předchozího softwaru bylo nejprve nutné doplnit vstupní databáze o nová data a software přednastavit tak, aby tato data byla správně načtena. Úkolem poslední části této práce bylo porovnat Jouleovy ztráty při dané velikosti přenášeného výkonu pro dvě různá teplotní rozmezí. Konkrétně pro nízké a vysoké teploty. Dále bylo úkolem porovnat ztráty vypočtené tímto softwarem se ztrátami, které jsou vypočtené pouze v závislosti na přenášeném výkonu a jsou tedy počítány stejnou metodou jako u předchozího softwaru.

Po vyhodnocení jednotlivých modelů jsem zjistil, že Jouleovy ztráty v závislosti pouze na přenášeném výkonu jsou větší než ztráty vypočtené softwarem „Optimalizace provozu vedení PS“. Nejmenší rozdíl mezi těmito ztrátami byl u vedení V405. Důvodem je fakt, že pro predikci ztrát u tohoto vedení byl dostatek dat, a proto je výpočet také nejpresnější. Dále jsem predikci ztrát zjistil, že ztráty rostou s teplotou. U predikčních křivek nízkého teplotního rozsahu byly ztráty menší a naopak u vyššího

teplotního rozsahu byly větší. Největší rozdíl ztrát byl u vedení V459, kde při výkonu 1300 MW byly ztráty při nízkém teplotním rozsahu 9,1 MW a při vysokém 9,9 MW. To značí, že velké výkony je lepší přenášet při nízkých teplotách. Musíme ale brát v úvahu, že když jsou teploty nízké, tak bývá větší vlhkost vzduchu, a tím rostou ztráty svodem a korunou. Naopak nejmenší rozdíl Jouleových ztrát při nízkém a vysokém teplotním rozdílu byl na vedeních V402, V403 a V405. Rozdíl při maximální modelové hodnotě přenášeného výkonu se pohyboval od 0,16 MW do 0,35 MW, což je téměř zanedbatelné. Největší Jouleovy ztráty v závislosti na teplotě i velikosti přenášeného výkonu vyly u nového vedení V458, kde ztráty dosahovaly hodnoty 24,3 MW při nízkém teplotním rozsahu a 25,4 MW při vysokém teplotním rozsahu. Obě hodnoty těchto ztrát byly u maximální hodnoty přenášeného výkonu 1300 MW. Podobně na tom byly hodnoty ztrát na vedení V402, kde se pohybovaly na hodnotách 21,05 MW při nízkém teplotním rozsahu a 21,4 MW při vysokém teplotním rozsahu při přenášeném výkonu 1200 MW. Při vyhodnocení predikčních křivek u vedení V457 jsem zjistil, že pro výpočet ztrát u vysokého teplotního rozsahu nebylo dostatek dat, křivka je tedy zkeslena a nebyla tedy uvažována. To se však netýká predikční křivky a ztrát nízkého teplotního rozsahu, a proto je vedení vyhodnoceno pouze pro tyto teploty.

Po celkovém zhodnocení mohu říct, že se technické ztráty v řešeném okruhu vedení přenosové soustavy často a razantně měnily. Největší vliv mělo připojení nového vedení V458, jímž se změnil chod celé sítě, a došlo k celkovému zmenšení technických ztrát. Dalším velkým činitelem je chod přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně, která vlivem častých změn svého režimu mění ztráty nejen na vedení V457, ale i na ostatních vedeních. Co se týče ztrát s ohledem na teplotu, ty jsou ovlivněny sice minimálně, ale jistý rozdíl zde existuje. Z modelových situací je patrné, že ztráty při nízkých teplotách jsou menší než ztráty u teplot vysokých. Toho si lze všimnout z dat, ve kterých lze vidět, že se ztráty s příchodem zimy zmenšovaly a v únoru, kdy byla teplota po celý týden měření pod hranicí 0 °C, jsou ztráty vůbec nejmenší.

Analýza technických ztrát na vedení přenosové soustavy je důležitým ukazatelem pro ekonomické zhodnocení přenosu elektrické energie a zároveň slouží k vyhodnocení změn stavu části soustavy po výstavbě nových rozvodů a vedení. Aby bylo možné ztráty minimalizovat, je potřeba vytvářet co nejpresnější modely stavů, které by mohly v budoucnu nastat, a tím poukázat na potřebu úprav dané části přenosové soustavy.

Literatura

1. HONIŠ, René. *Přenosová soustava České republiky* [online]. [Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr, 2014] [cit. 2018-02-09]. ISBN 978-80-905392-3-5. Dostupné z: <http://projekty.osu.cz/akreditace2017/Prenosova-soustava-Ceske-republiky.pdf>
2. HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Vydala VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
3. ČEPS a.s.: *Data do kapsy 2016* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/ke-stazeni>
4. KOSTKA, Tomáš. *Mechanika venkovního vedení*. Střední odborné učiliště technické - Havířov [online]. Havířov [cit. 2017-10-21]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/mech_v_v.pdf
5. ČEPS a.s.: *Vývoj přenosové soustavy* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/vyvoj-prenosove-soustavy>
6. ČEPS a.s.: *o společnosti* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/o-spolecnosti>
7. ČEPS a.s.: *činnosti* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/cinnosti>
8. ERU: *Cenové rozhodnutí* [online]. Jihlava: ERU.cz, 2017 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/elektrina/cenova-rozhodnuti>
9. ČEPS a.s.: *Kodex Přenosové soustavy* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
10. ČEPS a.s.: *Zahraniční spolupráce* [online]. Praha: Čeps.cz, 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/zahranicni-spoluprace>
11. ČEPS a.s.: *Přenosová soustava v ČR a střední Evropě v roce 2013/2015* [online]. Praha: Čeps.cz, [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/studie-a-analyzy>
12. *Transformátory PST s regulací fáze* [online]. Ostrava: OSU, [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://projekty.osu.cz/akreditace2017/PST%20transformatory%20uziti.pdf>
13. ČEPS a.s.: *Plán rozvoje přenosové soustavy České republiky 2017 - 2026*. ČEPS.cz [online]. Praha:, 2017 [cit. 2017-10-21]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/cs/rozvoj-ps>

14. RUDOLF, L. Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení přenosové soustavy. Habilitační práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009.
15. KUSELA, Jaroslav. Miniencyklopedie – elektřina. ČEZ [online], 2003 [cit. 2017-10-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz3.htm>
16. MACH, V. Technika vysokého napětí. 2. přepracované vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1161-8.
17. ETAP: Load flow analysis [online]. Irvine - California, USA: Etap, 2018 [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://etap.com/product/load-flow-software>
18. O. M. BAMIGBOLA; M. M. ALI; K. O. AWODELE. *Predictive Models of Current, Voltage, and Power Losses on Electric Transmission Lines*. Ilorin - Nigeria, 2014. Výzkumný článek. University of Ilorin
19. SANKARAMOORTHY, Muthubalaji; VELUCHAMY, Malathi. A hybrid MACO and BFOA algorithm for power loss minimization and total cost reduction in distribution systems. Indie, 2014. Výzkumný článek. Latha Mathavan Engineering College.

Seznam tabulek

Tab. 1: Vedení PS v České republice k datu 31. 12. 2016 [3].....	12
Tab. 2: Zařízení PS v České republice k datu 31. 12. 2016 [3].....	13
Tab. 3: Plán výstavby přenosového vedení do roku 2026. [13]	17
Tab. 4: Plán výstavby rozvodu do roku 2026. [13].....	18
Tab. 5: Tabulka řešeného okruhu vedení PS.	26
Tab. 6: Parametry vedení k roku 2017.....	26
Tab. 7: Ukázka databáze měřených hodnot pro letní období roku 2017.	27
Tab. 8: Tabulka úpravy teploty vedení V459 vybraného arktického týdne 24. 2. – 5. 3. 2018.	28
Tab. 9: Ukázka části databáze s měřenými hodnotami P a Q.....	34
Tab. 10: Ukázka databáze s parametry vedení.	34
Tab. 11: Ukázka vypočtených ztrát ze SW a technických ztrát na vedení V402 vybraného týdne 24. 2. – 5. 3. 2018.	36
Tab. 12: Vstupní databáze pro SW - Optimalizace provozu vedení PS.	48
Tab. 13: Nastavení SW – Optimalizace provozu vedení PS pro vyhledání příslušných dat ze vstupní databáze.	48
Tab. 14: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V402.....	50
Tab. 15: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V403.....	51
Tab. 16: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V405.....	53
Tab. 17: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V457.....	54
Tab. 18: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V458.....	55
Tab. 19: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V459.....	57

Seznam obrázků

Obr. 1: Elektrizační soustava.(1)	11
Obr. 2: Stožáry PS. [1].....	12
Obr. 3: Současný stav PS v České republice k datu 31.12.2016 [3].....	14
Obr. 4: Synchronní propojení Evropy pod uskupením organizace ENTSO-E k roku 2018. [10]	16
Obr. 5: Princip zapojení PST na PS. [12]	16
Obr. 6: Náhradní π - člunek se zanedbaným svodem.	20
Obr. 7: Ukázka schématu rozvodny Krasíkov z energetického dispečinku.	24
Obr. 8: Ukázka měřených a estimovaných ztrát z dispečinku.....	25
Obr. 9: Znázornění řešeného okruhu vedení PS.	25
Obr. 10: Schéma řešeného okruhu vedení PS.....	26

Obr. 11: Mapa měřených venkovních teplot v ČR ze dne 27. 2. 2018 vybraného týdnu 24. 2. – 5. 3. 2018, u kterého byly nejnižší naměřené teploty.....	28
Obr. 12: Ukázka softwaru Ztráty na vedení.....	35
Obr. 13: Nastavení výpočtu v SW - Optimalizace provozu vedení PS pro zvolené vedení V402.	49
Obr. 14: Tvorba programu – Optimalizace provozu PS.	58
Obr. 15: Ukázka demoverze nového softwaru - Optimalizace provozu PS.	58

Seznam grafů

Graf. 1: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 14. 8. - 21. 8. 2017.....	29
Graf. 2: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 11. 9. - 18. 9. 2017.....	29
Graf. 3: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 16. 10. - 23. 10. 2017.....	29
Graf. 4: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval letního období 13. 11. - 20. 11. 2017.....	30
Graf. 5: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval zimního období 11. 12. - 18. 12. 2017.....	31
Graf. 6: Časový průběh teplot na vedení PS pro časový interval zimního období 24. 2. – 5. 3. 2018.....	31
Graf. 7: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	36
Graf. 8: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	36
Graf. 9: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	37
Graf. 10: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V402 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	37
Graf. 11: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	38
Graf. 12: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	38
Graf. 13: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	38
Graf. 14: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V403 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	39
Graf. 15: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	40
Graf. 16: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	40
Graf. 17: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	40

Graf. 18: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V405 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	40
Graf. 19: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	41
Graf. 20: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	42
Graf. 21: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	42
Graf. 22: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V457 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	42
Graf. 23: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	43
Graf. 24: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	44
Graf. 25: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	44
Graf. 26: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V458 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	44
Graf. 27: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 11. 9 - 18. 9. 2017.....	45
Graf. 28: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 16. 10 - 23. 10. 2017.....	45
Graf. 29: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 13. 11 - 20. 11. 2017.....	46
Graf. 30: Ukázka technických ztrát a přenášeného výkonu na vedení V459 k datu 24. 2 - 5. 3. 2018.....	46
Graf. 31: Maximální ztráty na vybraných vedení PS podle měsíců.	47
Graf. 32: Procentuální rozložení jednotlivých složek maximálních technických ztrát na vybraných vedení PS.....	47
Graf. 33: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V402.	50
Graf. 34: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V403.	52
Graf. 35: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V405.	53
Graf. 36: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V457.	54
Graf. 37: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V458.	56
Graf. 38: Porovnání vypočtených Jouleových ztrát a ztrát predikovaných softwarem – Optimalizace provozu vedení PS, pro vedení V459.	57

Seznam příloh

- I.** Schéma přenosových a distribučních sítí k roku 1. 1. 2018
- II.** Rozvojové schéma přenosové soustavy ČR do roku 2026
- III.** Časové průběhy technických ztrát a přenášeného výkonu pro vedení PS (CD příloha) (V402, V403, V405, V457, V458, V459)
 - Letní období (srpen 2017, září 2017, říjen 2017)
 - Zimní období (listopad 2017, prosinec 2017, únor 2018)
- IV.** Časové průběhy Jouleových ztrát ze softwaru „Ztráty na vedená“ (CD příloha) (V402, V403, V405, V457, V458, V459)
 - Letní období (srpen 2017, září 2017, říjen 2017)
 - Zimní období (listopad 2017, prosinec 2017, únor 2018)